



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA



**EFFECTO DE DOSIS DE NITRÓGENO, FÓSFORO, LUZ SUPLEMENTARIA,
PACLOBUTRAZOL Y AMINOÁCIDOS EN CALIDAD DE PLÁNTULA Y
FLORACIÓN EN JITOMATE**

TESIS

Que como requisito parcial que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

JUANA PÉREZ MARTÍNEZ

Bajo la supervisión del:
Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez



APROBADA



Chapingo, Texcoco, Estado de México, junio de 2021.

**EFFECTO DE DOSIS DE NITRÓGENO, FÓSFORO, LUZ SUPLEMENTARIA,
PACLOBUTRAZOL Y AMINOÁCIDOS EN CALIDAD DE PLÁNTULA Y
FLORACIÓN DE JITOMATE**

Tesis realizada por **Juana Pérez Martínez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. ESAÚ DEL CARMEN MORENO PÉREZ

ASESOR:



DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESOR:



DR. J JESÚS MAGDALENO VILLAR

Chapingo, Estado de México, junio de 2021

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xii
RESUMEN GENERAL	xiii
GENERAL ABSTRACT	xii
I. Introducción general	1
II. Objetivo general	4
III. Hipótesis general	4
IV. Revisión de literatura	6
V. Literatura citada	18
CAPITULO 1. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE PACLOBUTRAZOL, AMINOÁCIDOS Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULAS DE JITOMATE Y NÚMERO DE FLORES POR PLANTA	27
1.1. RESUMEN	27
1.2. INTRODUCCIÓN	28
1.3. OBJETIVO	31
1.4. HIPÓTESIS	31
1.5. MATERIALES Y MÉTODOS	32
1.5.1. Ubicación del experimento	32
1.5.2. Características del invernadero	32
1.5.3. Material vegetal	33
1.5.4. Conducción del experimento	33
1.5.5. Descripción de tratamientos	36

1.5.6. Diseño experimental.....	40
1.5.7. Análisis estadístico.....	41
1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
1.6.1. Variables estudiadas en etapa de plántula.....	42
1.6.2. Variables del rendimiento y sus componentes	48
1.7. CONCLUSIONES	54
1.8. LITERATURA CITADA	55
CAPÍTULO 2. EFECTOS DE CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN PRESENCIA DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULAS DE JITOMATE Y NÚMERO DE FLORES POR PLANTA	59
2.1. RESUMEN.....	59
2.2. INTRODUCCIÓN.....	60
2.3. OBJETIVO	63
2.4. HIPÓTESIS.....	63
2.5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
2.5.1. Ubicación del experimento	64
2.5.2. Características del invernadero.....	64
2.5.3. Material vegetal.....	64
2.5.4. Conducción del experimento.....	65
2.5.5. Descripción de tratamientos	69
2.5.6. Diseño experimental.....	70
2.5.7. Análisis estadísticos	72
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
2.6.1. Variables evaluadas en plántula	73
2.6.2. Variables de rendimiento y sus componentes	77
2.7. CONCLUSIONES	80
2.8. LITERATURA CITADA	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Elementos minerales, concentración y fuentes utilizadas para la preparación de la solución nutritiva empleada (Solución al 100 %).	34
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos probados.	37
Cuadro 3. Composición química del NutriAmin12®.	38
Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables medidas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes concentraciones de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L ⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L ⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) 55 días después de la siembra.	42
Cuadro 5. Comparación de medias de variables medidas a los 55 dds en plántulas de jitomate en respuesta a distintas concentraciones de aminoácidos aplicados a los 15, 25, 35 y 45 dds y de paclobutrazol aplicado a los 15 y 25 dds así como de luz suplementaria aplicada de los 15 a los 45 días después de la siembra.	44
Cuadro 6. Análisis de varianza y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate creciendo con diferentes concentraciones de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L ⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L ⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz).	48
Cuadro 7. Comparación de medias de variables medidas de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate creciendo con diferentes dosis para los factores paclobutrazol (0, 50 100 mg L ⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L ⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) con base en el promedio de tratamientos.	51
Cuadro 8. Fuentes fertilizantes, fórmula química y cantidades de fertilizantes utilizadas para preparar 20 L de solución nutritiva en cada tratamiento.	66
Cuadro 9. Tratamientos resultantes de la combinación de concentraciones de nitrógeno, fósforo y condición de luz suplementaria evaluados.	69
Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables medidas en plántulas de jitomate creciendo en solución nutritiva con diferentes concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L ⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L ⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) 52 días después de la siembra.	73
Cuadro 11. Comparación de medias de variables medidas a los 52 dds en plántulas de jitomate en respuesta a distintas concentraciones de nitrógeno y fósforo aplicado en la solución nutritiva, así como de luz suplementaria aplicada de los 15 a los 45 dds.	75

Cuadro 12. Análisis de varianza y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate regadas con solución nutritiva a distintas concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L ⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L ⁻¹) sin luz y con luz suplementaria.	78
Cuadro 13. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes de plantas de jitomate regadas con solución nutritiva a distintas concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L ⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L ⁻¹) sin luz y con luz suplementaria.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química paclobutrazol. P – par de electrones expuestos del nitrógeno más delante del anillo heterocíclico (Leszek y Urbanczyk, 2003).	17
Figura 2. Apilado de charolas durante la germinación	34
Figura 3. Charola de 60 cavidades con tratamiento de luz suplementaria: a) Lámparas colocadas transversalmente a las charolas. b) Otra vista de tratamientos con luz led suplementaria.....	37
Figura 4. Aplicación de aminoácidos a plántulas de jitomate.....	38
Figura 5. Paclobutrazol utilizado: 5a: Cultar 25 SC® de la marca Syngenta® 5b: aplicación de paclobutrazol a plántulas de jitomate.	39
Figura 6. Distribución de tratamiento y sus repeticiones en charola de 60 cavidades. R1: Repetición 1, R2: repetición 2, R3: Repetición 3, R4: Repetición 4, PE: plantas extras.....	39
Figura 7. Plantas con tratamientos de paclobutrazol® a dosis de a) 0 mg L ⁻¹ , b) 50 mg L ⁻¹ y c) 100 mg L ⁻¹	45
Figura 8. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en altura de planta a los 55 días después de la siembra.	46
Figura 9. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en área foliar a los 55 días después de la siembra.	46
Figura 10. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en peso seco a los 55 días después de la siembra.	47
Figura 11. Interacción aminoácidos x luz en área foliar a los 55 días después de la siembra.	47
Figura 12. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo del experimento.	52
Figura 13. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en número de frutos por planta.	53
Figura 14. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en rendimiento por planta.	53
Figura 15. Vista aérea de una charola de 60 cavidades establecida por tratamiento. R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4.....	65
Figura 16. Colocación de lámparas led de luz blanca sobre las plántulas con tratamientos de luz.....	67
Figura 17. Práctica de tutorado en plantas de jitomate.....	68

Figura 18. Planta de jitomate despuntada (eliminación de yema terminal) dos hojas arriba del tercer racimo.....	68
Figura 19. Charolas de 60 cavidades con sus respectivos tratamientos en etapa de semillero.....	70
Figura 20. Plántulas de jitomate a) con luz suplementaria y b) sin luz suplementaria 52 días después de la siembra.....	77
Figura 21. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo del experimento.	79

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi cariño y agradecimiento a mis padres **Guadalupe Martínez Aguilar** y **Emiliano Pérez Sánchez**, por invertir parte de su vida en enseñarme a no rendirme y lograr objetivos planteados, sin importar las circunstancias en las que la vida te pone.

A mi hermana **Mireya Pérez Martínez** por estar presente cuando lo necesité.

A la **familia García Cruz** por confiar en mi persona, brindarme su apoyo y afecto incondicional.

Con gran cariño y admiración al **Dr. Efraín Contreras Magaña** por mostrarme y enseñarme la pasión, compañerismo y humildad con la que se debe de vivir día con día, sé que se encuentra en un lugar mejor.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y al Instituto de Horticultura por abrir sus puertas y brindarme herramientas académicas fundamentales para mi formación para enfrentar los desafíos que se avecinan.

Al personal administrativo del posgrado de fitotecnia, en especial a Rogelio Deheza, María de los Ángeles Pérez, Ana Robles y al Dr. Oscar Mascorro por el apoyo y asesoramiento en la tramitología a lo largo de mis estudios de posgrado, sin olvidar al Dr. Juan Martínez que fue una pieza clave para que este sueño iniciara.

A los doctores que formaron parte de mi formación académica, por dedicar parte de su tiempo para compartir sus conocimientos hacia mi persona, siempre con la vocación de enseñanza.

Al Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por su apoyo desde el proceso de admisión hasta la finalización de esta etapa de mi vida, donde sus recomendaciones y respaldo contribuyeron a mi desarrollo tanto personal como profesional.

Al Dr. Felipe Sánchez de Castillo por compartir su vasta experiencia y conocimientos para el desarrollo de mi experimento y mejora en el presente documento.

Al Dr. J. Jesús Magdaleno Villar por brindarme su asesoramiento en la mejora del escrito de tesis y compartir sus conocimientos, esclareciendo siempre las dudas surgidas durante los dos años de maestría.

A mis compañeros y amigos de generación, en especial a Lau, Alma, Nancy, Francis, Jhusua y Rommel por permitirme conocer un tipo de amistad cercana a la hermandad, apoyándome en todo momento que fue necesario.

A la familia García Cruz por el apoyo y respaldo en todo el proceso que implicó este sueño, en especial a Uriel E. García Cruz por permanecer a mi lado en todo momento sin importar las circunstancias.

Al Dr. Efraín Contreras Magaña por sus conocimientos, consejos y apoyo en el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.

A cada una de las personas que confiaron en mí y me apoyaron en el cumplimiento de esta meta.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:	Juana Pérez Martínez
Fecha de nacimiento:	24 de junio de 1990
Lugar de nacimiento:	Tlaxcala, Tlaxcala, México
CURP:	PEMJ900624MTLRRN06
Profesión:	Ingeniera agrónoma

Desarrollo académico

Preparatoria:	2005-2008	Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 03.
Licenciatura:	2009-2014	Ingeniera Agrónoma. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.
Maestría:	2019-2020	Maestra en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE DOSIS DE NITRÓGENO, FÓSFORO, LUZ SUPLEMENTARIA, PACLOBUTRAZOL Y AMINOÁCIDOS EN CALIDAD DE PLÁNTULA Y FLORACIÓN DE JITOMATE

En el sistema de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) basado en altas densidades de población y poda del ápice para dejar solamente tres racimos por planta, el rendimiento anual, dependen del número de frutos y peso de cada racimo por planta y del número de ciclos de cultivo por año. El objetivo fue obtener plántulas de jitomate con calidad, que puedan ser trasplantadas 50 a 60 días después de la siembra, para concluir un ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha en 90 días y con ello cuatro ciclos de cultivo anual, sin efectos adversos en el rendimiento. Un segundo objetivo fue promover un mayor número de flores y frutos en las primeras tres inflorescencias para incrementar el rendimiento por planta y por unidad de superficie. Se establecieron dos experimentos; el primero consistió en aplicar, en etapa de plántula, tres concentraciones de aminoácidos (0, 50 y 100 mg L⁻¹), tres de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L⁻¹), y dos niveles de luz (con y sin luz suplementaria por ocho horas diaria); en el segundo se evaluaron tres concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva (100, 200 y 300 mg L⁻¹) y tres de fósforo (25, 50, 75 mg L⁻¹), con y sin aplicación de luz suplementaria. En total se tuvieron 18 tratamientos en cada experimento. El diseño fue bloques completos al azar, con arreglo factorial de tratamientos, cuatro repeticiones y seis plantas como unidad experimental. El híbrido utilizado fue Pai Pai de tipo saladette con crecimiento indeterminado. Las plantas fueron establecidas a una densidad de ocho plantas m⁻² de invernadero, y despuntadas dos hojas arriba del tercer racimo. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). En ambos experimentos se obtuvieron plántulas de jitomate con calidad, capaces de ser trasplantadas al menos a los 50 días después de la siembra, pero el ciclo de cultivo duró más de 90 días. El paclobutrazol a dosis de 100 mg L⁻¹, redujo altura de plántula, el área foliar y provocó mayor diámetro de tallo, mientras que la luz led suplementaria redujo la altura e incrementó el peso seco de la plántula. Ningún tratamiento promovió más flores por planta; sin embargo, en el primer experimento, la adición de luz dio lugar a un mayor rendimiento debido a un mayor peso medio de fruto.

Palabras claves: Trasplantes tardíos, floración, jitomate.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Juana Pérez Martínez.

Director de tesis: Esaú del Carmen Moreno Pérez.

GENERAL ABSTRACT

EFFECT

Yearly output in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production system based on high population density and tip blunting to leave only three clusters per plant, depends on the number of seeds, how much each cluster weighs, and the number of harvesting cycles per year. The target was to obtain high quality tomato seedlings that can be transplanted within 50 to 60 days after seeding, in order to complete a 90-day harvesting cycle and thus four yearly harvesting cycles without any negative effect in the output. A second target was to boost a higher number of flowers and seeds and the first three florescences to increase the outcome per plant and per surface unit. Two experiments were performed. On the first one, three different quantities of amino acids (0, 50 and 100 mg L⁻¹), three different quantities of paclobutrazol (0, 50 and 100 mg L⁻¹), and two different lighting conditions (with and without supplementary light for eight hours) were applied to the seedlings. On the second one, three different nitrogen concentrations and three different phosphorus concentrations were evaluated in the nutritional solution with and without supplementary light. 18 different procedures were performed in each experiment. The arrangement was to use random full blocks with a factorial procedure, four repetitions and six plants as experimental unit. The hybrid used was the indefinite growth saladette Pai Pai seed. The plants were set up with a density of eight plants per square meter in the greenhouse, blunting three leaves above the third cluster. The data gathered was analyzed for changeability and compared with the Tukey measure ($P \leq 0.05$). In both experiments, high quality seedlings able to be transplanted were obtained within 50 days after seeding, although the harvesting cycle lasted more than 90 days. Paclobutrazol at a dose of 100 mg L⁻¹, reduced the height of the seedling, the foliar and caused a greater diameter of the stem, while the supplementary LED light reduced the height and increased the dry weight of the seedling. No treatment promoted more flowers per plant; however, in the first experiment, the addition of light resulted in a higher yield due to a higher average fruit weight.

keywords: Late transplants, flowering, *Solanum lycopersicum* L.

Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autonoma Chapingo.

Author: Juana Pérez Martínez.

Advisor: Esaú del Carmen Moreno Pérez.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción mundial de jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.), se ha incrementado en los últimos años (Jiménez, 2016; Delgado, 2019), con una producción de 177 millones de toneladas en el año 2017 de las cuales, México aporta 2.3 % con 3.5 millones toneladas en una superficie de 25,764 hectáreas de agricultura protegida, aproximadamente 22,000 de éstas bajo condiciones de invernadero (AMHPAC, 2020; SIAP, 2020).

La creciente demanda de esta hortaliza ha provocado que se busquen alternativas tecnológicas de producción, dirigidas a elevar la productividad por unidad de superficie y calidad del fruto (Aguilar, 2012; Sánchez y Moreno, 2017), tecnologías como la de invernaderos y los sistemas hidropónicos, que bien manejadas permiten elevar la productividad de cualquier cultivo (Resh, 2012).

Con base en lo anterior, se han realizado investigaciones secuenciadas en la Universidad Autónoma Chapingo, que han permitido la validación de tecnologías y el desarrollo de un sistema de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que consiste en acortar el ciclo de cultivo en menos de cuatro meses del trasplante a fin de cosecha, con lo que se logra obtener tres ciclos de cultivo al año, mediante el trasplante de plántulas de 55 a 60 días después de la siembra, manejadas en contenedores con capacidad de 250 cm³ o con mayor volumen combinado con el despunte de la yema terminal a tres racimos con una altura de planta menor a 1 m (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 2021), esto en conjunto con el manejo en altas densidades de población (8 a 10 plantas m⁻²) y despunte del ápice a la altura de dos hojas por arriba del tercer racimo, dejando así, solamente 3 racimos por planta. Con este manejo, se ha logrado rendimientos del orden de 15 a 20 kg m⁻² ciclo⁻¹ de cultivo en jitomate tipo saladette, lo que equivale a obtener 450 a 600 t ha⁻¹ año⁻¹ en tres ciclos anuales (Méndez *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2017; Moreno *et al.*, 2021).

Bajo este manejo del cultivo, el rendimiento por planta, depende de la producción obtenida en cada racimo (3 por planta), por lo que se debe buscar que esos racimos logren su máximo desarrollo posible (Aguilar 2012; Sánchez *et al.*, 2021). Blanco (2014) expresa que, ante tal forma de manejo, los racimos deberán presentar un mayor número de flores con un alto porcentaje de amarre de frutos, o bien, un mayor número de frutos por planta con calidad y tamaño comercial, para ello, es necesario garantizar condiciones para un buen amarre y desarrollo de frutos por planta y por unidad de superficie. De ahí la importancia de estudiar los factores ambientales que regulan el número de flores por racimo y por planta (Ponce *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2021).

De acuerdo con Adams (1986) y Torres (2013), la productividad de la planta está determinada en gran medida por el número de flores, el cual está altamente correlacionadas con el tamaño del meristemo apical previo a la iniciación de la formación de las flores individuales del primer racimo (Contreras *et al.*, 2013) que, a su vez, depende de la tasa de producción de asimilados y su distribución (Dileman, 1992). Cada flor o fruto requiere una tasa mínima de abastecimiento de asimilados durante sus etapas iniciales de desarrollo, por lo que el aumento de la tasa de asimilación neta diaria podría incrementar el número primordios florales por racimo (Charles *et al.*, 1986; Ponce, 2000).

Los factores ambientales como luz, nutrición, y reguladores de crecimiento influyen directa o indirectamente en la iniciación floral (Dileman, 1992). La fase en que el número de flores puede ser afectado por el ambiente (periodo sensitivo) empieza unos ocho días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas más, coincidiendo con el momento en que la tercera hoja formada sobrepasa los 10 mm de longitud (Ho, 1984; Contreras *et al.*, 2013).

Con la aplicación de aminoácidos durante el periodo de iniciación floral, las plántulas gastan menos fotosintatos en la asimilación del nitrógeno para formar sus propios aminoácidos, dejando más azúcar disponible (Xing-Quan y Kyu-Seung, 2012). Además, Aguilar (2012) indica que la luz suplementaria en la

planta de jitomate en invernadero aumenta el rendimiento total al igual que la calidad del fruto, ya que se reducen los días a antesis y se aumenta la precocidad de la cosecha al incrementar la integral diaria de radiación interceptada por las plantas y con ello, la tasa de fotosíntesis diaria (Morgan, 1984; Contreras, 2007) al generar más azúcares disponibles y favorecer la translocación de éstos hacia dichas inflorescencias en mayor proporción. Asimismo, dosis elevadas de nitrógeno y fósforo en esta etapa del desarrollo, promueven floración temprana e incrementan el número de flores a un nivel superior de lo habitual, y a su vez el rendimiento (Rodríguez, 1998; Saborío, 2002).

Finalmente, la aplicación de Paclobutrazol reduce los niveles de giberelinas endógenas, disminuye el crecimiento vegetativo en tallo y hojas generando la posibilidad de inclinar las relaciones fuente-demanda a favor del desarrollo de los primordios florales de los primeros racimos, al dejar disponibles más fotoasimilados (Atherton y Harris, 1986; Leszek y Urbanczyk, 2003).

Con base en lo anterior, se plantea que con el manejo de las plantas en altas densidades de población y despunte al tercer racimo, el rendimiento anual dependerá de la duración del ciclo de cultivo del trasplante a fin de cosecha, de tal forma que al reducirse dicho periodo, se tiene la oportunidad de obtenerse más ciclos de cultivo en un año y por lo tanto mayor productividad anual por unidad de superficie, por otra parte, el rendimiento de cada ciclo, depende del número y peso de frutos por planta, por lo que se busca incrementar el número de frutos por planta sin que disminuya su peso medio. El número de frutos por planta, dependerá del número de flores que se desarrollen y cuajen, que, a su vez, depende de la cantidad de fotoasimilados, producto de la fotosíntesis y de la distribución en los distintos órganos en crecimiento disponibles para los primordios de flor en el momento de su diferenciación, pues la falta de azúcares en ese momento provoca su aborción (Picken, 1986; Pizarro, 2014).

II. OBJETIVO GENERAL

- 1.** Obtener plántulas de jitomate con calidad, capaces de ser trasplantadas hasta los 60 días de edad sin efectos posteriores en el crecimiento y rendimiento a través la aplicación de diferentes dosis de aminoácidos, paclobutrazol, nitrógeno, fósforo y luz suplementaria durante el proceso de diferenciación floral de las tres primeras inflorescencias.
- 2.** Promover la formación de más flores por racimo en plantas de jitomate despuntadas después de la aparición del tercer racimo, mediante la aplicación de diferentes dosis de aminoácidos, paclobutrazol, nitrógeno, fósforo y luz suplementaria durante el proceso de diferenciación floral de las tres primeras inflorescencias.

III. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de aminoácidos, paclobutrazol, nitrógeno, fósforo y luz suplementaria en la etapa de plántula en jitomate, puede favorecer la disponibilidad de fotoasimilados para los primordios florales al momento de su diferenciación en las primeras tres inflorescencias, disminuyendo el porcentaje de aborción, lo que permitirá un mayor número de flores que lleguen a antesis y mejorar el rendimiento final; además, se puede evitar la etiolación de las plántulas por competencia de luz y generar plántulas compactas, sin que se afecte el crecimiento y desarrollo posterior, para permitir su trasplante a los 60 días después de la siembra y acortar el ciclo de cultivo de trasplante a cosecha en menos de 90 días, lo que permitiría obtener cuatro ciclos al año.

Para lograr los objetivos generales señalados, y probar la hipótesis de trabajo, se planteó el establecimiento de dos experimentos independientes, mismos que conforman la presente tesis y se estructuran a manera de capítulos o artículos científicos, además de una amplia revisión de literatura.

Los títulos de cada capítulo son los siguientes:

Experimento 1: Efectos de la aplicación de paclobutrazol, aminoácidos y luz suplementaria sobre calidad de plántulas de jitomate y número de flores por planta.

Experimento 2: Efectos de concentraciones de nitrógeno y fósforo en presencia de luz suplementaria sobre calidad de plántulas de jitomate y número de flores por planta.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

Producción de jitomate bajo agricultura protegida

La agricultura protegida permite minimizar las restricciones y efectos causados por fenómenos meteorológicos al proveer un control ambiente climático y edáfico, para obtener alto rendimiento y productos de alta calidad y valor económico, así como el aumento de la rentabilidad económica por unidad de espacio y tiempo (Moreno *et al.*, 2011; Sánchez y Moreno, 2017). De acuerdo con el SIAP (2019), la Agricultura protegida ha presentado un crecimiento promedio de 3 mil ha anuales en los últimos 14 años, de manera que actualmente en México se cuenta por lo menos con 42,000 con ese tipo de agricultura. Del total de la superficie casi 26 mil de estas son destinadas a la plantación de hortalizas, siendo el tomate rojo o jitomate (*solanum lycopersicum* L.) el cultivo predominante, con el 70 % de ocupación de superficie en malla sombras e invernaderos (Sánchez y Moreno, 2017), cuya producción se exportan principalmente a Estados Unidos con un promedio de 1 millón y medio de toneladas al año (AMHPAC, 2020).

Sistema de producción de jitomate en invernadero

Este sistema de cultivo de jitomate que más se practica en el mundo (sistema convencional), se basa en el uso de cultivares de crecimiento indeterminado plantados en sustratos hidropónicos o suelos mejorados con densidades de 2 a 3 plantas/ m² que se dejan crecer de 3 a 7 metros durante 10 a 11 meses para cosechar entre 15 y 20 racimos con rendimientos promedios de 300 t ha⁻¹ año⁻¹ (Resh, 2012; Santo y Sánchez, 2003; Vázquez *et al.*, 2007; Castellanos y Borbón, 2009). Con este sistema, en el norte de Europa se superan fácilmente los 500 t ha⁻¹ y se han informado rendimientos de hasta 700 t ha⁻¹, esto debido al uso de la más alta tecnología para el control total de los factores ambientales y prácticas culturales intensivas que va de la mano con altos costos de producción durante todo el año (Heuvelink y Dorais, 2005; Heuvelink *et al.*, 2018; Chieri *et al.*, 2018).

En la Universidad Autónoma Chapingo, se ha estado desarrollando un sistema de producción consiste en producción de plántulas manejadas en contenedores de alta capacidad con trasplantes tardíos (45-60 días) y remoción de la yema terminal para dejar las plantas a tres racimos, lo que permite tener plantas de menos de un metro de altura, poca área foliar y elevar la densidad poblacional de 8 o más plantas por m^2 tal como como mencionan Sánchez *et al.*, (2012); Portillo (2020) y Moreno *et al.* (2021). La implementación de las prácticas culturales ya mencionadas y el control adecuado de las condiciones climáticas y/o el desarrollo en un ambiente donde se tengan condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo dentro del invernadero todo el año, permite establecer hasta 3 ciclos de producción y un rendimiento promedio de $17 \text{ kg m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ en jitomate tipo saladette, equivalente a 500 a 600 $\text{t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Sánchez *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2017).

El rendimiento por unidad de superficie es similar o incluso mayor que lo que se logra con el sistema convencional, pues el rendimiento por planta al tener solamente tres racimos es compensado con mayor densidad de población por metro cuadrado; además, el tiempo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta a 90 y 100 días, logrando tres o cuatro ciclos al año y la posible concentración de la cosecha en ventanas de mercado donde el precio es más alto además de la disminución de problemas fitopatológicos porque las plantas permanecen por menor tiempo en las campo o camas definitivas (Sánchez *et al.*, 1999; Santos y Sánchez, 2003).

Condiciones ambientales para el desarrollo del jitomate

La base para el establecimiento de jitomate en el interior de un invernadero es el conocimiento y control óptimo de los factores ambientales tales como la temperatura, luminosidad, CO_2 , humedad y luz, así como prácticas de cultivo intensivo (hidroponía, riego, densidad de plantas, etc.), permitiendo un óptimo crecimiento y desarrollo en cada etapa fenológica; de manera que se obtengan altos rendimientos y calidad de frutos (Sánchez y Moreno, 2017; Heuvelink y Dorais, 2018).

Según Velasco (2017) la temperatura óptima para el cultivo de jitomate varía según la etapa fenológica. Para la germinación se requieren entre los 25 a 28 °C, en crecimiento de 21 a 26 °C. El crecimiento máximo (mayor producción de materia seca) para un mayor rendimiento se obtiene con una temperatura diurna de 24 °C y nocturna de 17 °C. Las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y amarre del fruto oscilan entre los 14 °C y 18 °C durante la noche y de 23 °C a 26 °C durante el día y en la maduración de 18 °C y 24 °C.

La humedad relativa más favorable para el cultivo del jitomate es la que oscila entre 50 al 70 % (Aguilar, 2012; Mendoza *et al.*, 2018). Una humedad relativa superior a 90 %, provoca que las anteras se hinchen y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma por lo que no hay polinización y se produce la aborción, sin dejar de mencionar que favorece el desarrollo de enfermedades fungosas; etc. y abajo del 50 % el polen se deshidrata; además de los efectos en transpiración de la planta, que al disminuir genera problemas por deficiencia de calcio, sobre todo, en frutos (Velasco, 2017).

De acuerdo con Sánchez y Moreno (2017) y Solís (2020), la intensidad adecuada de luz en el cultivo de jitomate para lograr la máxima fotosíntesis en etapa reproductiva oscila entre 5,000 a 8,000 pies-bujía, de preferencia con luz difusa. El rango de intensidad adecuado en etapa de plántula debe encontrarse entre los 3000 y 4000 pies-bujía, hasta la aparición de la cuarta hoja. Aunque el jitomate es de fotoperiodo neutro (Aguirre *et al.*, 2020) las bajas intensidades de luz provocan menor crecimiento en la planta, haciéndolas más susceptibles a patógenos y a los cambios del ambiente, generando el aborto de flores y la malformación de frutos. Cuando se tienen días cortos (menores de 12 horas) el ciclo vegetativo se alarga y el inicio de fructificación es tardío (Atherton y Harris, 1986; Benavides, 2015).

El CO₂ es uno de los factores que limitan la fotosíntesis. El alto contenido de CO₂ aumenta el contenido de materia seca en las hojas y tallos, así como la concentración de almidón foliar y la disposición de más carbohidratos para el crecimiento de frutos (Heuvelink y Dorais, 2018). El consumo medio de CO₂ en

condiciones ambientales adecuadas y con hojas bien iluminadas es de 3 g m⁻² de hoja por hora. Como lo plantea Hanan (1998) citado por Sánchez y Moreno (2017) el aire dentro del invernadero debe ser renovado cada minuto con el fin de evitar la reducción de su concentración (normalmente 300 ppm de concentración de CO₂) y mantener intensidades luminosas a partir de 4600 pies-bujía (230 w m⁻²) para general un aumento de la fotosíntesis casi lineal.

Floración en jitomate

Descripción general de la floración en jitomate

El desarrollo de una planta es el resultado de la interacción e interdependencia de miles de células que crecen, se dividen y se especializan eventualmente (Sánchez y Moreno, 2017). El conocimiento preciso de cómo y cuando ocurren las fases morfológicas que se llevan a cabo en el proceso de diferenciación floral del tomate permite influir en las modificaciones ambientales correctas con el fin de manipular el fenómeno a favor de la producción (Contreras *et al.*, 2013).

Greyson y Sawhney (1972) y Aguilar (2012) destacan que la flor del tomate es hermafrodita, autocompatible, regular, hipógina, pedunculada, de color amarillo y forma corimbos axilares. El cáliz se forma por cinco sépalos, la corola cuenta con cinco pétalos dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135 ° (1/5 en espiral) con un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bilocular o plurilocular. Las anteras son bilobuladas y contienen varios cientos de granos de polen. El pistilo se encuentra constituido por un ovario de varios lóculos, generalmente de cinco a nueve, pero puede haber hasta de dos lóculos; con una placenta carnosa central y un estilo largo que ejerce presión sobre las anteras próximas, de las que levemente sobresale y termina en un estigma achatado. Cuando polen es liberado de las anteras, cae directamente sobre el estigma donde eventualmente germina (González, 1991; Chávez, 2013).

Las flores se agrupan en racimos y se encuentran unidas al eje floral por un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión (Nuez, 2001; Baquero *et al.*, 2010). El número de flores depende del tipo de jitomate, que va desde 4 a 6

flores por racimo en cultivares tipo arriñonado hasta 100 flores en tomates tipo “cherry” o de 2 a 7 en jitomate tipo saladette (Castellanos y Borbón, 2009; Aguilar, 2012). Una inflorescencia con dos principales ejes generalmente lleva el doble de flores que una simple inflorescencia.

Desarrollo floral

La iniciación floral se da a partir de la yema apical del tallo, comienza dentro de las tres semanas posteriores a la expansión de los cotiledones y la aparición entre la sexta y octava hoja (Dieleman y Heuvelink, 1992; Contreras *et al.*, 2013). Esta fase del proceso en el primer racimo floral se lleva a cabo aproximadamente de 20 a 21 días después de la siembra. Durante la transición de estado vegetativo a reproductivo se inicia de la conformación de protuberancias que son los primordios de flor y así sucesivamente continúa la aparición de primordios florales hasta completar el número total que formará la inflorescencia. Cada nuevo primordio surge en la base de donde aparecieron los anteriores (Contreras, 2007; Contreras *et al.*, 2013)

Contreras *et al.*, (2013) indica que la formación de la flor de tomate tiene su inicio desde que en el meristemo en diferenciación se separa una protuberancia y comienza a formar el primer primordio de sépalo y finaliza cuando la flor madura llega al estado de antesis. El cambio total del meristemo de la condición vegetativa a reproductiva se obtiene cuando ya está conformada por todos los órganos en un estado de desarrollo maduro. Este desarrollo se origina de los 22 a 26 días después de la siembra.

Los primordios de flor de la inflorescencia se encuentran en diferente etapa de desarrollo, así como los órganos de cada una de las flores que la conforman. Después de que se diferenció cada una de las flores que conforman la inflorescencia, comienza el desarrollo de formación de un ramillete. Transcurridos unos 45 a 55 días, las primeras flores entran en el estado de antesis (Nuez, 2001; Contreras *et al.*, 2013).

Una vez que el crecimiento reproductivo se ha establecido, evidenciado por la iniciación y desarrollo de flores, un suministro adecuado de fotosintatos asegurará proporciones altas de amarre de fruto y llevarán al desarrollo adecuado de los mismos (Picken, 1984; Santiago y Mendoza, 2010).

Factores que influyen en la floración en jitomate

La floración es un proceso que puede ser afectado desde el momento de iniciación de la primera inflorescencia hasta las fases sucesivas por factores ambientales como la temperatura, radiación, competencia con otros órganos, nutrición y aplicación de reguladores de crecimiento, entre otros; como consecuencia de la modificación de procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo que actúan conjunta y coordinadamente a nivel celular para la producción y distribución de bioasimilados en la planta (Nuez, 2001; Contreras *et al.*, 2013; Sánchez y Moreno, 2017).

La diferenciación floral se va a desencadenar siempre y cuando el suministro de asimilados del ápice vegetativo sea adecuado previo y durante la fase sensitiva, la cual empieza alrededor de los nueve días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas más, coincidiendo con el momento en que la tercera hoja formada sobrepasa los 10 mm de longitud antes de que la iniciación floral tenga lugar (Dieleman y Heuvelink, 1992; Ponce *et al.*, 2000; Contreras *et al.*, 2013).

De acuerdo con Charles *et al.* (1986) y Ortega *et al.* (2012) el número de primordios en la primera inflorescencia puede aumentar si la tasa de asimilación neta diaria se mantiene constante, además de reducir el tiempo de formación de flores y aumentar la cantidad de éstas dentro de la inflorescencia (Atherton y Harris, 1986; Dieleman y Heuvelink, 1992).

La temperatura afecta en gran medida el tamaño y número de flores de la inflorescencia. Se ha demostrado que temperaturas de entre 10 y 16 °C durante el periodo de crecimiento causan un incremento de 4 a 8 flores más que las

plantas desarrolladas a temperaturas de 24 a 30 °C (Santiago *et al.*, 2000; Arenas, 2015).

La aplicación de frío durante la etapa de formación de las primeras hojas verdaderas que dura aproximadamente 10 días, disminuye el consumo de carbohidratos de las plantas debido a una baja tasa de respiración y disminución la longitud de las hojas, lo que contribuye a una mayor disponibilidad de fotoasimilados que pueden ser aprovechados en el desarrollo de más inflorescencias. (Resh, 2012; Heuvelink y Dorais, 2018).

Abdul y Harris (1978) y Montoya (2015) expresa que las hojas jóvenes en desarrollo producen giberelina traslocables a los primordios del primer racimo con el fin de reducir su crecimiento y la absorción de fotoasimilados. Plantas cultivadas a bajas temperaturas contienen niveles más bajo de giberelinas difusibles de las hojas previas al primer racimo permitiendo el desarrollo prematuro del mismo.

De acuerdo con Calvert en (1973) en variedades de jitomate comercial expuestas a temperaturas relativamente bajas (10-13 °C) en combinación con alta irradiancia inducen una mayor proporción de inflorescencias ramificadas, con aproximadamente el doble de flores que las simples.

a) Radiación

Aguirre (2020) expresa que la luz es uno de los elementos más importantes para el correcto desarrollo de las plantas y su intensidad juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las mismas. La respuesta de las plantas a los estímulos lumínicos depende de la intensidad de radiación a la que es sometida y su fluctuación durante el día (Meisel *et al.*, 2011; Searle y Coupland, 2004).

La radiación solar incidente corresponde a la energía radiante con longitud de onda comprendidas entre los 380 y 760 nanómetros (nm) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) a la luz responsable de la fotosíntesis que abarca

entre los 400 y 700 nm siendo su unidad de medida $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Oyarzún *et al.*, 2011; Sánchez y Moreno, 2017). Charles *et al.* (1986) citado por Sánchez y Moreno (2017) indica que en promedio la mitad de la radiación solar es fotosintéticamente activa.

El rango de intensidad adecuado de irradiación por día para hortalizas de fruto como el jitomate oscila en 5,000 y 8,000 pies-bujía. Esto equivale a un aumento de peso fresco del cultivo de 200 a 400 g $\text{m}^{-2} \text{día}^{-1}$. Entre mayor sea la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que se intercepte y absorba por el dosel en un día dentro de ciertos límites, mayor será la producción de materia (Sánchez y Moreno, 2017). Se ha reportado que un exceso de radiación y temperatura propicia disminución de crecimiento y retraso de la floración (Pramuk y Runkle, 2005).

b) Luz artificial suplementaria

Benavides (2015) resaltan que la floración del tomate generalmente no es afectada por la duración del día debido a que el cultivo es insensible al fotoperiodo, pero requiere una irradiancia diaria de entre 11 a 12 horas para el desarrollo normal de las plantas, de lo contrario hay efectos como la disminución del crecimiento, aumento en el número de hojas y retraso de la iniciación floral (Atherton y Harris, 1986; Pramuk y Runkle, 2005).

La influencia de las condiciones de iluminación es decisiva para inducir una respuesta morfológica en plántulas de tomate durante la primera fase de crecimiento que abarca del día 1 al 15 después de la siembra o hasta la formación de la quinta y sexta hoja (Basucco y Nicola, 1995; Contreras, 2007). Trouwborst *et al.* (2011) destacan que la iluminación suplementaria en plántulas de jitomate con eficiente control de la calidad (tipo de lámparas, control de luz), cantidad (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) y tiempo de exposición añadido a la luz natural promueve más fotosíntesis por planta por día, generando una serie de cambios favorables en la composición química de la planta, como el aumento de materia seca, contenido de azúcares, polifenoles, carotenoides o clorofila y

cambios morfológicos, tales como el aumento en el número de flores de los primeros dos racimos y con ellos el rendimiento por planta, que resultan interesantes particularmente con el manejo de ciclos cortos como el manejo que se practica en el presente trabajo.

Los tipos de lámparas más usados para la iluminación suplementaria son las fluorescentes y las incandescentes (Aguilar, 2012). McCall (1992) sugiere una intensidad de 30 a 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para el aumento en el número de flores por racimo; sin embargo, Kowalczyk *et al.* (2012) señalan que la aplicación de periodos de iluminación de 16 horas con lámparas tipo LED y lámparas de sodio de alta presión a una intensidad de 100 a 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ generan frutos con mayor jugosidad de pulpa, dulzura, turgencia y calidad.

c) Nutrición mineral

El cultivo de tomate, al igual que la mayoría de las plantas, necesita de al menos 16 elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunos de ellos se encuentran en las enzimas y coenzimas y otros son compuestos importantes en el aporte de energía y en el almacenamiento de nutrientes (Resh, 2012; Alcántara y Trejo, 2013).

El crecimiento y rendimiento del jitomate puede ser controlado variando el nivel de nitrógeno en la primera fase del crecimiento, desde el desarrollo de las primeras hojas verdaderas hasta la mitad del periodo de la plántula (Basucco y Nicola, 1995; Gaytán *et al.*, 2016). Concentraciones altas de Nitrógeno (250-400 mg L^{-1}) desarrollan tallos y hojas con mayor clorofila que absorben relativamente más cantidades de luz y se incrementa la elaboración de carbohidratos que se distribuyen a las demandas de la planta, lo que permite un crecimiento vigoroso, diferenciación floral precoz, mejor desarrollo del estilo, incremento en el número de flores, maduración temprana; incremento en el número de semillas, número de hojas, diámetro de tallos, peso fresco de brotes y peso fresco total entre otros (Varis y George, 1985; Moreno, 2004). Sin embargo, un reducido suministro de

nitrógeno genera la formación de más hojas antes de que se inicie la formación de la primera flor (Atherton y Harris, 1986; Rodríguez, 1998; García, 2019). Las concentraciones bajas de N en las hojas y tallo dan lugar a hojas cada vez más pequeñas, pero más gruesas (Scholberg *et al.*, 2000; Ruiz, 2017) además de reducción en el área foliar (Martínez *et al.*, 2005) y materia seca (Zhao *et al.*, 2005).

Adams (1986), Cadahía (2000), Mengel y Kirkby (2001) mencionan que el fósforo es constituyente de enzimas, proteínas y es componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos, por lo tanto juega un papel importante en la síntesis de azúcar, grasas y proteínas además del crecimiento reproductivo y división celular. Concentraciones altas de fósforo (60 a 180 mg L⁻¹) generan un crecimiento más vigoroso y floración temprana (Rodríguez, 1998) al tener un efecto de sobre la iniciación floral y al diferenciar los botones florales a un nivel superior de lo habitual (Dieleman y Heuvelink, 1992). La deficiencia puede reflejar un retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta (DeGroot *et al.*, 2001). Takahashi *et al.* (1958) y Menary y Van Staden (1976) encontraron que cuando las plantas crecen con un suministro bajo de fósforo durante 10 días, la antesis se retrasa por 7 días y el número de flores del primer racimo se reduce de 7 a 3.

Por otro lado, al realizar aplicaciones foliares de compuestos orgánicos como los aminoácidos, estos penetran a través de la cutícula y membranas celulares de las hojas y activan el metabolismo celular lo que involucra respuestas fisiológicas, estructurales y modificaciones morfológicas a corto y largo plazo (Chen y Aviad, 1990; Espinosa *et al.*, 2019). Estos cambios maximizan los recursos internos y externos en combinación con algunos elementos como el fósforo y el hierro, al servir como agentes quelatantes y favorecer su transporte, penetración, aumento de eficiencia y reducción de tiempo de acción en los tejidos vegetales (Massonneau *et al.*, 2001; López *et al.*, 2000; Kamara, 2000).

d) Reguladores de crecimiento

Los reguladores de crecimiento (RC) son sustancias que inhiben el crecimiento en plantas, principalmente el alargamiento de los entrenudos y disminución de área foliar, resultado de un debilitamiento en el alargamiento de las células bloqueando la síntesis de giberelinas o el cambio de su composición en diferentes etapas (Leszek y Urbanczyk, 2003). Por su parte Brigard *et al.* (2006) y Seleguini *et al.* (2013), señalan que aplicaciones de un retardador del crecimiento como el paclobutrazol en etapas tempranas del crecimiento, puede formar plantas con entrenudos cortos y hojas más pequeñas, lo que facilitaría mantener las plántulas más tiempo en el semillero y hacer trasplantes a mayor edad sin consecuencias negativas posteriores. Los reguladores de crecimiento son un medio para hacer un mejor uso de los asimilados disponibles (Dieleman y Heuvelink, 1992; Hernández y Villegas 2006; Parra *et al.*, 2010). Un ejemplo de esto es el uso del paclobutrazol en plantas de jitomate que al aplicarse foliarmente en etapa de plántula genera entrenudos cortos que sintetizan menos auxinas, haciéndolas más tolerantes a la escasez de luz y altas dosis de nitrógenos, además de tener menor altura que ayuda a una mejor conducción de agua, nutrimentos y fotoasimilados (Adams, 1986; Leszek y Urbanczyk, 2003). Al no invertir asimilados en el alargamiento celular dichos asimilados se translocan a otras demandas de la planta, estimulando el amarre de yemas florales y aumento del tamaño de las primeras dos inflorescencias formadas además de inducir el incremento de raíces, lo que favorece la absorción de nutrientes (Atherton y Harris, 1986; Leszek y Urbanczyk, 2003). El producto es absorbido pasivamente a través de las hojas, tallos y raíces, translocándose por el xilema hasta los puntos de crecimiento, donde reduce la división celular en la parte subapical al impedir la acción de la giberelina (Early y Martín 1988; Ruiz, 2019). A pesar de generar hojas pequeñas se mejoró la actividad fotosintética y con ello la calidad de plántulas para el trasplante, acelerando la formación y cosecha de frutos de tomate sin dejar residuos en ellos (Berova y Zlatev, 2000).

El Paclobutrazol anteriormente llamado PP333 es un potente retardador de plantas de segunda generación, que actúa sobre una amplia gama de especies

de plantas (Leszek y Urbanczyk, 2003). Es absorbido por las hojas, tallos y raíces. Causa debilitamiento fuerte del crecimiento y disminuye el uso del agua por la planta al tener menos área foliar dependiendo de la especie, etapa fenológica de las plantas y dosis (Dieleman y Heuvelink, 1992; Ruvalcaba *et al.*, 2007). La aplicación también causa una menor absorción de potasio, magnesio y manganeso, pero no influye en la absorción del nitrógeno, zinc y cobre además de aumentar la concentración de iones en las hojas (Leszek y Urbanczyk, 2003). Estructuralmente es un triazol sustituido con dos átomos asimétricos de carbono (2RS,3RS) -1- (4-clorofenil) -4,4-dimetil-2- (1,2,4-triazol- 1-il) pentan-3-ol tal como se observa en la Figura 1 (Hedden y Graebe, 1985). El átomo de nitrógeno que se encuentra en el anillo heterocíclico en la posición adelantada de la cadena lateral, tiene un par de electrones expuestos que permiten inactivar a las monooxigenasas que dependen del citocromo P450 en la reacción luminosa de la fotosíntesis. Estas enzimas están unidas a las membranas de los microsomas y catalizan las reacciones de oxidación en múltiples vías metabólicas, especialmente en la vía de la biosíntesis de los terpenoides, inhibiendo la síntesis de las giberelinas (Leszek y Urbanczyk, 2003; Azcón-Bieto *et al.*, 2000).

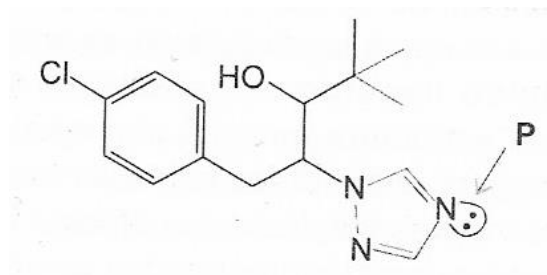


Figura 1. Estructura química paclobutrazol. P – par de electrones expuestos del nitrógeno más delante del anillo heterocíclico (Leszek y Urbanczyk, 2003).

V. LITERATURA CITADA

- Abdul, K. S.; Harris, G. P. 1978. Control of flower number in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): the role of gibberellins. *Annals of Botany*, 42 (6): 1361-1367.
- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. In the tomato crop, Por Atherton, J. G. y Rudich. Chapman and Hall. Pp: 230-234.
- Aguilar, R. M. 2012. Efecto de luz suplementaria en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 96 p.
- Aguirre, B. H. 2020. Rendimiento y producción de metabolitos secundarios en plantas de jitomate con fotoperiodos complementado mediante sistema de iluminación LED. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 63 p.
- Alcántara G. G.; Trejo, T. L. I. 2013. Nutrición de cultivos. Colegio de Posgraduados. Pp: 454.
- Arenas, P. B. 2015. análisis de la respuesta fisiológica en plantas de jitomate (*lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a estrés abiótico. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Acatzingo de Hidalgo, Puebla. 63 p.
- Asociación Mexicana de Agricultura protegida AC (AMAPAC). 2020. Disponible en: <http://amhpac.org/2018/images/PDFoficial/HorticulturaenMexico.pdf> (Consultado en agosto de 2020).
- Atherton, J. G., y Harris, G. P. 1986. Flowering. En the tomato crop. Londres, Inglaterra: Chapman and Hall. Pp.167-200.
- Azcón, B.; Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill/ Interamericana de España. Aravaca, Madrid. 651 p.
- Baquero, R. A. Q.; López, H. E. B.; Herrera, J. G. Á.; Hernández, J. F. C.; Pinzón, H. H. 2010. Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4 (2): 185-198.
- Basoccu, L.; Nicola, S. 1995. Efectos suplementarios de la luz y del nitrógeno antes del trasplante sobre el crecimiento y el rendimiento de las plántulas de tomate. *Producción de hidroponía y trasplantes*, 396: 313-320.

- Benavides, S. P. I. 2015. Capacidad germinativa del genotipo de tomate floradade (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de estrés salino en diferentes fotoperiodos. Trabajo de Titulación. Universidad estatal Península de Santa Elena. La libertad, Ecuador. 64 p.
- Berova, M.; Zlatev, Z. 2000. Respuesta fisiológica y rendimiento de plantas de tomate tratadas con paclobutrazol (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Regulación del crecimiento vegetal, 30 (2): 117-123.
- Blanco, H. M. A. 2014. Efecto de la temperatura nocturna en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 37 p.
- Brigard, J. P.; Harkess, R. L.; Baldwin, B. S. 2006. Tomato early seedling height control using a paclobutrazol seed soak. HortScience, 41 (3): 768-772.
- Cadahía, C. 2000. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. 2da Edición. Ediciones Mundo Prensa. Pp: 681.
- Calvert, A. 1973. Environment responses. The U. K. tomato manual. H. G. King ham. Grower Books, Londón. Pp: 23-34.
- Castellanos, Z. J.; Borbón M. C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. In: Castellanos, Z. J. (Ed.). Manual de producción de tomate en invernadero. Guanajuato, México. Pp:1-18.
- Charles, E. D.; Doley, A. D.; Rimmington, G. M. 1986. Modeling plat growth and development. Academic Press. Sidney, Australia, 235 p.
- Chávez, G. M. A. 2013. Efecto de dos coberturas plásticas en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Coatepec Harinas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Tenancingo, Estado de México. 57 p.
- Chen, Y.; Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. In Humic Substances in Soil and Crop Science. Madison Wisconsin, U.S.A. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 161-186.
- Cheiri, K. de G. A.; Peet, M. M. 2018. Greenhouse tomato production. In: Heuvelink, E. (Ed.), Tomatoes. Pp: 276-313.
- Contreras, M. E. 2007. Efecto del Ambiente de Crecimiento de Plántulas de Jitomate sobre el Número de Flores y Producción de Fruto. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 123 p.

- Contreras, M. E.; Arroyo, P. H.; Ayala, A. J.; Sánchez Del C. F.; y Moreno, P. del C. 2013. Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 19 (4): 59-70.
- De Groot, C. C.; Marcelis, L. F. M.; Van den Boogaard, R.; Lambers, H. 2001. Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. Plant. Cell Environ, 24 (12): 1309-1317.
- Dieleman, A. J.; Heuvelink, J.A. 1992. Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. Journal of Horticultural Science, 67 (1): 1-10.
- Early, J. D.; Martin, G. C. 1988. Transport and accumulation of paclobutrazol in peach seedlings. In VI International Symposium on Growth Regulators in Fruit Production, 239: 73-76.
- Espinosa, P. B.; Cano, R. P.; Salas, P. L.; García, H. J. L.; Preciado, R. P.; Sáenz, M. J. y Reyes, C. J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. Biotecnia, 21 (3):100-107.
- García, C. A. 2019. Influencia del manejo agronómico orgánico sobre los perfiles metabolómicos de distintos órganos de plantas de jitomate *Solanum lycopersicum* L. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y de Estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Irapuato, Guanajuato, México. 92 p.
- Gaytán, R. M.; Vargas, E. E.; Rivera, A. M.; Morales, F. V. D. J. 2016. Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico, 3: 18-25.
- González, I. A. 1991. El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), aspectos para su cultivo en México. Tesis de Licenciatura. Universidad autónoma Chapingo. Texcoco, México. 708 p.
- Greyson, R. I.; Sawhney, V. K. 1972. Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: insights from allometry. Botanical Gazette, 133 (2): 184-190.
- Hanan, J. 1998. Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture. USA: CRC Press. 567 p.

- Hedden, P.; Graebe, J. E. 1985. Inhibition of gibberellin biosynthesis by paclobutrazol in cell-free homogenates of *Cucurbita maxima* endosperm and *Malus pumila* embryos. *Journal of plant growth regulation*, 4: 111-122.
- Hernández, A. E. M.; Villegas, T. O. 2006. Respuesta de las plantas de tomate rojo (*Solanum Lycopersicum* L.) a bioestimulantes de crecimiento. Memoria 4° encuentro de jóvenes investigadores. Guerrero, México, 7: (2).
- Heuvelink, E. L. T.; Dorais, M. 2005. *Crop Growth and Yield*. Cambridge. USA. Pp: 85-143.
- Heuvelink, E. L. T.; Dorais, M. 2018. Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes*. Pp: 89-136.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation*, 2: 277-285.
- Jiménez, R. M. Costos de producción y comercialización de jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero en Ocopulco, Chiautla, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 89 p.
- Kamara, K. A. 2000. Catálogo de productos Intrakam. S.A. de C.V. Saltillo, Coahuila, México. Disponible en: <http://intrakam.com/productos/>. (Consultado en agosto de 2020).
- Kowalczyk, K.; Gajc-Wolska, J.; Metera, A.; Mazur, K.; Radzanowska, J.; Szatkowski, M. 2012. Efecto de la iluminación suplementaria sobre la calidad del fruto del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en el cultivo otoño-invierno. VII Simposio Internacional sobre Luz en Sistemas Hortícolas, 9 (56): 395-401.
- Leszek, S. J.; Urbanczyk, de E. A. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 483 p.
- López, B. J.; Nieto, J. M. F.; Ramírez, R. V.; Herrera, E. L. 2000. Organic acid metabolism in plants: From adaptative Physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science*, 160: 1-13.
- Martínez, V.; Fernández, M. del A.; Marcelis, L. F. M. 2005. Growth and physiological response of tomato plants to different periods of nitrogen starvation and recovery. *Journal Horticulture Science Biotechnology*, 80: 147-153.

- Massonneau, A.; Langlade, N.; Leon, S.; Smutry, J.; Vogt, E.; Neumann, G.; Martino, E. 2001. Metabolic changes associated with cluster root development in white lupin (*Lupinus albus* L.): relationship between organic acid excretion, sucrose metabolism and energy status. *Plant Science*, 213: 534-542.
- McCall, D. 1992. Effects of supplementary light on tomato transplant growth, and the after-effect on yield. *Plant Science horticulture*, 51: 65-70.
- Meisel, A. L.; Urbina, C. D.; Pinto, E. M. 2011. Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. *Fisiología vegetal*. FA Squeo Cardemil, Ediciones Universidad de La Serena, Chile, 18: 1-10.
- Menary, R. C.; Staden, J. V. 1976. Effect of phosphorus nutrition and cytokinins on flowering in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Functional Plant Biology*, 3 (2): 201-205.
- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 11 (1): 185-192.
- Mendoza, P. C.; Ramírez, A. C.; Martínez, R. A.; Rubiños, P. J. E.; Ojeda, B. W.; Flores V. J. 2018. Influencia de las variables atmosféricas en la producción y calidad de jitomate indeterminado (CID FI) en invernadero. IV Congreso Nacional de Riego y drenaje COMEII. Aguascalientes, Aguascalientes. Pp: 152-158
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. *Annals of Botany Company*. Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Montoya, N. M. 2015. Estudio de la ramificación en mutantes hormonales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría. Instituto de biología Molecular y Celular de Plantas. Valencia, España. 73 p.
- Moreno, R. A.; Aguilar, D. J.; Luévano, G. A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29: 763-774.
- Moreno, V. 2004. Procedimientos para el manejo de la nutrición y el control de la fertilización en las casas de cultivo. Grupo Empresarial Frutícola. La Habana. 38 p.
- Moreno, P. E. del C.; Sánchez del C. F.; Ruiz, D. M.; Contreras, M. E. 2021. Efecto de densidades de población y aplicaciones de paclobutrazol en calidad de plántula y rendimiento en jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27 (1): 5-17.

- Morgan, J. V. 1984. Chemical and environmental control of growth during propagation of tomato plants for transplanting. Symposium on Tomato Production on Arid Land, 190: 523-530.
- Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Editorial. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Oyarzún, R.; Stöckle, C.; Wu, J.; Whiting, M. 2011. In field assessment on the relationship between photosynthetic active radiation (PAR) and global solar radiation transmittance through discontinuous canopies. Chilean Journal of Agricultural Research, 71 (1): 122-131.
- Parra, T. S.; Salas, N. E.; Villarreal, R. M.; Hernández, V. S.; Sánchez, P. P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura, 16 (1): 37-47.
- Picken, A. J.; Stewart, K.; Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. In: The Tomato Crop. J. G. Atherton; J. Rudich (eds.). Chapman and Hall Ltd. New York. Pp: 111-165.
- Pizarro, C. J. P. E. 2014. Efecto de la aplicación de ácidos geberélico y benciladenina sobre la cuaja y producción de tomate injertado bajo invernadero frío. Memoria de Título. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 33 p.
- Ponce, O. J.; Sánchez, del C. F.; Contreras, M. E.; Corona, S. T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Fitotecnia Mexicana, 23 (1): 87-97.
- Portillo, M. L. 2020. Efectos de luz suplementaria sobre calidad de plántulas y números de flores por racimo en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 165 p.
- Pramuk, L. A.; Runkle, E. S. 2005. Modeling growth and development of Celosia and Impatiens in response to temperature and photosynthetic daily light integral. Journal American Society Horticulture Science, 130 (6): 813-818.
- Resh, H. M. 2012. Producción de alimentos hidropónicos: una guía definitiva para el jardinero doméstico avanzado y el cultivador hidropónico comercial. Prensa CRC. 619 p.

- Rodríguez, O. C. 1998. Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. floradade. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 85 p.
- Ruiz, D. M. 2019. Efectos de densidad de población, volumen de contenedor, paclobutrazol y luz suplementaria sobre calidad de plántula y floración de jitomate. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 141 p.
- Ruvalcaba, L. P.; Alcaraz, T. D. J. V.; Villegas, B. A.; Tafoya, F. A.; Valdés, T. D.; Castro, J. F. I.; Ortega, J. E. C. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Revista Fitotecnia Mexicana, 30 (2): 145-149.
- Saborío, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización foliar. In: Meléndez, G. y Molina, E. (eds.). Memorias Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. Pp: 107-124.
- Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Morales, M. A.; Peña, L. A.; Colinas, L. M. T. 2012. Densidad de población y volumen de sustrato en Plántulas de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Agrociencia, 46 (3): 255-266.
- Sánchez, del C., F. y Moreno, P. E. del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura protegida No.1 Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 405 p.
- Sánchez, del C, F.; Ortiz, C. J.; Moreno, P. E. del C.; González, H. V. A.; Colinas, L. M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Revista Agrociencia, 33 (1): 21-29.
- Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Magdaleno, V. J.; Pineda, P. J.; Martínez, D. T.; Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 26 p.
- Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana, 40 (3): 333-340.
- Sánchez, del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A.; Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Fitotecnia Mexicana, 21 (1): 1-13.

- Sánchez, del C. F.; Ponce, O. J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura, 4 (2): 89-94.
- Sánchez, del C. F.; Portillo, M. L.; Moreno, P. E. del C.; Magdaleno, Villar, J. J.; Vázquez R. J. C. 2021. Effects of container volume and seedling density on late transplanting and number of flowers in tomato. Revista Chapingo Serie Horticultura, 27 (2): 71-84.
- Santiago, J.; Mendoza, M. 2010. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana, 9 (1): 59-65.
- Santos, M. J.; Sánchez, del C. F. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana, 26 (4): 257-262.
- Scholberg, J.; McNeal, B. L.; Boote, K. J.; Jones, J. W.; Locascio, S. J.; Olson, S. M. 2000. Nitrogen stress effects and nitrogen accumulation by field-grown tomato. Agronomic Journal, 92: 159-167.
- Searle, I.; Coupland, G. 2004. Inducción de la floración por cambios estacionales de fotoperiodo. The EMBO Journal, 23 (6): 1217-1222.
- Seleguini, A.; Araujo, F. M. J.; Benett, K. S., Lacerda, L. O.; Seno, S. 2013. Strategies for tomato seedling production using paclobutrazol. Ciencias Agrarias, 34 (2): 539-548.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. disponible en: <https://www.gob.mx/siap>. (Consultado en enero de 2021).
- Solís, V. A. 2020. Hortofruticultura. Estado de México, México. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31426/secme-20132.pdf?sequence=1>. (Consultado en marzo de 2021)
- Takahashi, B.; Eguchi, T.; Yoneda, K. 1973. Estudios sobre la formación de flores en tomates y berenjenas. Revista de la Sociedad Japonesa de Ciencias Hortícolas, 42 (3): 228-234.
- Torres, C. M. A. 2013. Evaluación de frecuencia y dos concentraciones de aplicación de bioestimulante (biozyme ®) en floración de berenjenas (*solanum melongena* L.) para reducir los costos del cultivo. Memoria de Título. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 40 p.

- Trouwborst, G.; Schapendonk, H.C.M.; Rappoldt, K.; Pot, S.; Hogewoning, S. W. ; Leperen, V. W. 2011. The effect of intracanopy lighting on cucumber fruit - model analysis. *Scientia Horticulturae*, 129 (2): 273-278.
- Varis, S.; George, R. A. T. 1985. The influence of mineral nutrition on fruit yield, seed yield and quality in tomato. *Journal of horticultural science*, 60 (3): 373-376.
- Vázquez, R. J. C.; Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. *Revista Chapingo serie horticultura*, 13 (1): 55-62.
- Velasco. L. F. 2017. Caracterización climática y producción intensiva de fresa (*Fragaria* spp.) en contenedores escaleriformes, bajo invernadero. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México. 45 p.
- Xing-Quan, L.; Kyu-Seung, L. 2012. Effect of mixed amino acids on crop growth. *Agricultural Science*, 7: 121-162.
- Zhao, D.; Reddy, K. R.; Kakani, V. G.; Reddy, V. R. 2005. Efectos de la deficiencia de nitrógeno sobre el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis de las hojas y las propiedades de reflectancia hiperespectral del sorgo. *Revista europea de agronomía*, 22 (4): 391-403.

CAPITULO 1. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE PACLOBUTRAZOL, AMINOÁCIDOS Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULAS DE JITOMATE Y NÚMERO DE FLORES POR PLANTA

1.1. RESUMEN

El sistemas producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero enfocados a incrementar el rendimiento por unidad de superficie, mediante el manejo de altas densidades, trasplantes tardíos y despuntes al tercer racimo depende principalmente del número de frutos que desarrollan por planta y del número de ciclos de cultivo que se logren al año, por lo que en el presente trabajo se planteó el objetivo de evaluar el efecto de aminoácidos, paclobutrazol y luz suplementaria en plántulas de jitomate sobre calidad de plántula capaces de ser trasplantadas de los 50 a 60 días después de la siembra para lograr un ciclo de cultivo de trasplante a cosecha en menos de 90 días y obtener cuatro ciclos de cultivo al año, y sobre el número de flores por planta para un mayor rendimiento anual. Se evaluaron 18 tratamientos, resultado de la combinación de tres concentraciones de aminoácidos (0, 50 y 100 mg L⁻¹), tres de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L⁻¹) y dos niveles de luz suplementaria (con luz y sin luz suplementaria). Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial, con cuatro repeticiones y seis plantas por unidad experimental. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). El material vegetal utilizado fue el híbrido Pai Pai de jitomate tipo saladette con hábito de crecimiento indeterminado. Las plántulas se desarrollaron en charolas de poliestireno de 60 cavidades con un volumen de 250 cm³ por cavidad. Se estableció una densidad de ocho plantas m⁻², con eliminación de la yema terminal dos hojas arriba del tercer racimo. Se encontró que la combinación de aminoácido, paclobutrazol y luz suplementaria generó plántulas con vigor y calidad capaces de ser trasplantadas a los 55 días después de la siembra, pero el ciclo del cultivo duró más de 90 días. Ninguno de los factores estudiados (paclobutrazol, aminoácidos y luz) promovió más flores por planta, pero las aplicaciones de luz suplementaria dieron lugar a plantas con mayor peso medio de fruto y con ello mayor rendimiento, mientras que con las aplicaciones de paclobutrazol, sobre todo con las dosis de 100 mg L⁻¹, se tuvo una reducción drástica en la altura de plántula, área foliar y peso seco, además produjeron un efecto de disminución en el número y peso medio de frutos, y con ello disminución del rendimiento.

Palabras claves: Aminoácidos, Paclobutrazol, Luz suplementaria, Floración.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Juana Pérez Martínez.

Director de tesis: Esaú del Carmen Moreno Pérez.

1.2. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) es la especie hortícola con mayor área cultivada y producción en el mundo, con rendimientos de 177 millones de toneladas en el año 2018 (SIAP, 2019). Las exportaciones de jitomate cultivado bajo esquemas de agricultura protegida han mantenido una tendencia de alza, y México se posiciona como líder mundial con un volumen de 1,684,766 toneladas al año, valor que supera ya la producción a cielo abierto que alcanza alrededor de 1,300,000 toneladas más (SIAP, 2019; AMHPAC, 2020).

El sistema de producción comúnmente utilizado en el mundo, consiste en el uso de cultivares tipo bola o saladette de crecimiento indeterminado, con densidades de población de dos a tres plantas m^{-2} que se dejan crecer a más de tres metros de altura, para cosechar de 15 a 25 racimos por planta en un ciclo de cultivo que de trasplante a fin de cosecha dura de 10 a 11 meses, con rendimientos de 300 $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Castellanos y Borbón, 2009) y que, cuando se maneja con alta tecnología, infraestructura y equipos sofisticados, se pueden lograr hasta 500 $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Heuvelink y Dorais, 2005; Sánchez *et al.*, 2014). Más recientemente, Heuvelink *et al.* (2018) reportan rendimientos de hasta 600 $\text{t ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ con invernaderos de muy alta tecnología. Aunque los rendimientos que se logran son altos, los ciclos de cultivo tan largos (un ciclo de producción al año), hacen que manejo del cultivo resulte difícil desde el punto de vista técnico, por la incidencia de plagas y enfermedades que se presentan a lo largo del ciclo de cultivo (Portillo, 2020; Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2012).

Como resultado de investigaciones secuenciadas realizadas por investigadores de la Academia de Agricultura Protegida de la Universidad Autónoma Chapingo, se ha desarrollado un paquete tecnológico alternativo validado de manera comercial, el cual se basa en acortar el ciclo de cultivo a menos de 4 meses, mediante el trasplante de plántulas de 45 días de edad, con plantas despuntadas al tercer racimo, y el establecimiento de una densidad poblacional de 8 plantas m^{-2} (Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 2000; Sánchez *et al.*, 2012). Con este manejo se logran tres ciclos de cultivo por año, lo que permite una

productividad anual potencial de 400 a 500 t ha⁻¹ año⁻¹ sin necesidad de utilizar invernaderos equipados con alta tecnología (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Ponce, 1998; Heuvelink *et al.*, 2018), pero sí agronómicamente bien diseñados (Sánchez y Moreno, 2017).

Cabe señalar que con el manejo del cultivo en alta densidad de población (8 plantas m⁻²) y poda temprana (3 racimos por planta), el rendimiento anual depende del rendimiento (kg m⁻²) en cada ciclo y del número de ciclos por año (Sánchez *et al.*, 2021; Moreno *et al.*, 2021). El rendimiento por ciclo dependerá a su vez del número de flores o frutos que se desarrollen en cada racimo y de su peso medio, por lo que se debe buscar el mayor número de flores posibles en cada inflorescencia (Sánchez *et al.*, 2021; Aguilar, 2012). Para un mayor número de ciclos por año, se busca obtener plántulas con calidad que permitan su trasplante entre los 50 y 60 días después de la siembra (dds), sin que se afecte el rendimiento posterior, para que el tiempo de trasplante a fin de cosecha se reduzca.

Ambos propósitos (trasplante a los 50 a 60 días y el mayor número de flores por inflorescencia) parecen ser posibles con el manejo de plántulas en contenedores de mayor volumen (250 cm³) como ya ha sido evaluado por Moreno *et al.* (2021) y Sánchez *et al.* (2021), o bien con el manejo de factores ambientales como el uso de luz suplementaria, nutrición a base de aminoácidos o el uso de reguladores del crecimiento como la aplicación de paclobutrazol.

Dieleman y Heuvelink (1992) y Charles *et al.* (1986) explican que la modificación de factores ambientales durante la fase sensitiva a favor del crecimiento y desarrollo de las plantas, que para el caso del jitomate empieza unos ocho días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas más, puede permitir la reducción en el tiempo de formación de flores y el aumento de la cantidad de éstas por racimo, siempre y cuando el suministro de asimilados del ápice vegetativo previo y durante esta fase sea el adecuado. Al respecto Picken (1984) destaca que un déficit de carbohidratos durante la etapa de diferenciación floral afecta significativamente el crecimiento reproductivo.

La aplicación de luz suplementaria en jitomate puede favorecer el crecimiento y rendimiento de las plantas, debido a que se promueve más fotosíntesis por planta por día generando cambios en la composición química y morfológica de la planta, tales como el aumento en el número de flores y frutos en las plantas iluminadas (Jokinen *et al.*, 2012; Trouwborst *et al.*, 2011).

Los retardadores de crecimiento tales como el paclobutrazol son compuestos orgánicos que reducen la elongación celular en tejidos del brote en activo crecimiento debido a la inhibición de la síntesis de giberelinas (Rojas y Rovalo, 1985; Azcón, 2000). Villegas y Lozoya (1991) manifiestan que algunas consecuencias morfológicas directas sobre la planta es la reducción de crecimiento y la estimulación en la producción de flores en especies como el jitomate siempre y cuando sea aplicado durante la fase sensitiva (diferenciación de primordios florales) de la planta. Al respecto Pisarczyk y Splittstoesser (1979) demostraron que el uso de paclobutrazol permite retrasar el trasplante, sin afectar la precocidad de las flores y frutos.

Por otra parte, la aplicación de bioestimulantes a base de aminoácidos favorece el proceso de producción de proteínas con lo que se produce un ahorro de energía que la planta puede dirigir hacia otros procesos tales como floración, y cuajado de frutos. Este ahorro de energía tiene un valor especial cuando estos productos son aplicados en los momentos iniciales de la emergencia y primer crecimiento que es cuando la planta necesita mayor aporte de nitrógeno de tal forma que actúa en el cultivo incrementando el vigor, rendimiento y calidad de producción (Saborío, 2002).

Se esperaría entonces que con el uso de paclobutrazol aplicado en etapa de plántula (desarrollo de primordios florales de las tres primeras inflorescencias), se redujera la velocidad de crecimiento de estructuras como hojas y tallos en desarrollo, lo que haría menor la competencia que ejercen estos órganos por fotoasimilados con los primordios florales que se están diferenciando y desarrollando en ese momento, lo que conduciría a un mayor número de flores por inflorescencia y por planta. Aspecto que se favorecería aún más con la

aplicación de luz suplementaria y de aminoácidos que contribuirían a aumentar la cantidad de azúcares disponibles para el desarrollo floral.

Con base en lo anterior, se planteó el presente trabajo con los objetivos siguientes.

1.3. OBJETIVO

Evaluar los efectos de la aplicación de tres diferentes concentraciones de aminoácidos (0, 50 y 100 ppm), tres concentraciones de paclobutrazol (0, 50 y 100 ppm) y dos condiciones de luz suplementaria (con y sin luz), sobre variables morfológicas y de crecimiento de plántulas de jitomate trasplantadas a los 55 días después de la siembra y su efecto posterior sobre el número de flores por planta y en el rendimiento.

1.4. HIPÓTESIS

La aplicación conjunta de aminoácidos, luz suplementaria, y paclobutrazol, al inicio, durante y después de la diferenciación de las primeras inflorescencias, se reducirá la competencia por fotoasimilados entre los órganos vegetativos y los primordios de flor y se estimulará el crecimiento de estos últimos, disminuyendo el porcentaje de aborción, lo que conduciría a un mayor número de flores y frutos por planta, además de generar plántulas con un óptimo crecimiento y desarrollo, capaces de ser trasplantadas hasta los 50 a 60 días después de la siembra, sin efectos adversos sobre el rendimiento y sus componentes.

1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

1.5.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo del 10 de julio al 16 de diciembre del 2019 y consistió de dos fases, una de semillero y la otra del desarrollo de cultivo en el invernadero de producción. El estudio se hizo bajo condiciones de invernadero, mismos que se encuentran ubicados en el área de Posgrado de Horticultura, perteneciente al Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco de Mora en el Estado de México, a 19°29' de Latitud Norte y 98°53' Longitud Oeste, y una altitud de 2,250 m.

1.5.2. Características del invernadero

La fase de semillero se desarrolló en un invernadero tipo capilla (a dos aguas) de una sola nave, con cubierta de polietileno térmico con alta dispersión de luz, con dimensiones de 30 m de largo por 11 m de ancho.

Las condiciones ambientales se controlaron mediante: 1) la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y protección con malla antiáfidos (de 25 X 40 hilos por pulgada cuadrada) para evitar la entrada de insectos plaga; 2) sistema de calefacción con calefactor automático de gas a base de combustión directa, que ayudó a controlar las bajas temperaturas y las altas humedades relativas; 3) Un sistema de enfriamiento evaporativo compuesto por una pared húmeda y dos extractores que permitieron controlar la temperatura y humedad relativa dentro de ciertos límites. El suelo estaba cubierto con ground cover blanco que ayudaba a mejorar la reflexión de luz, haciéndola más difusa. Durante esta etapa, se buscó mantener temperaturas entre 15 y 25° C durante el día y entre 10 y 18° C durante la noche.

Después del trasplante, el manejo se llevó a cabo en un invernadero de 500 m² con características semejantes al del semillero.

1.5.3. Material vegetal

Se trabajó con el híbrido Pai-Pai, tipo saladette indeterminado, de la empresa Enza Zaden. Las plantas son de entrenudos cortos y excelente cobertura foliar que presenta precocidad a cosecha, alta productividad con frutos que pueden alcanzar 170 gramos, larga vida de anaquel y sin problemas de maduración, como firmeza y brillo rojo intenso. Tienen alta resistencia al virus del mosaico del tomate (ToMV), *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Marchitez por *Fusarium*), marchitez por *Verticillium* (*Verticillium albo-atrum* (Va) y *Verticillium dahliae* (Vd) y con media resistencia al virus del bronceado del tomate (TSWV (Tomato spotter wilt virus)), *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Pudrición de corona y raíz por *Fusarium* (For), *Meloidogyne arenaria* (Ma), *Meloidogyne incógnita* (Mi) y *Meloidogyne javanica* (Mj) (Enza Zaden, 2021).

1.5.4. Conducción del experimento

La siembra se hizo en charolas de poliestireno de 60 cavidades, las cuales fueron previamente desinfectadas con sales cuaternarias de amonio al 5 %. Se depositó una sola semilla por cavidad y se usaron un total de 30 cavidades por charola en una distribución de una hilera sembrada y otra no, con una separación de 10 x 5 cm entre cavidades. Cada cavidad de charola tenía un volumen de 250 cm³. La densidad de plántulas resultante en semillero fue de 150 plántulas m⁻². Como sustrato de siembra se utilizó una mezcla de peat-moss, perlita y arena de tezontle cribado a una granulometría de 0.5 a 1.5 mm de diámetro con una proporción volumétrica de 1:1:1. Una vez hecha la siembra, las charolas fueron apiladas y cubiertas con polietileno blanco durante tres días con el fin de conservar la humedad y temperatura para favorecer la germinación (Figura 2). Las plántulas fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva de forma manual, una vez por día, entre las 9:00 y las 11:00 h, a partir de los 15 dds dos veces, por la mañana (entre 9:00 y 11:00 h) y por la tarde (entre 13:00 y 15:00 h) con las concentraciones de nutrimentos indicadas en el Cuadro 1.



Figura 2. Apilado de charolas durante la germinación.

Cuadro 1. Elementos minerales, concentración y fuentes utilizadas para la preparación de la solución nutritiva empleada (Solución al 100 %).

Elemento	Concentración completa (mg L ⁻¹)	Fuente Fertilizante
Nitrógeno	200	Ca (NO ₃) ₂ (nitrato de calcio)
Fósforo	40	H ₃ PO ₄ (ácido fosfórico)
Potasio	250	K ₂ SO ₄ (sulfato de potasio)
Calcio	250	Ca (NO ₃) ₂ (nitrato de calcio)
Magnesio	40	MgSO ₄ ·7H ₂ O (Sulfato de magnesio heptahidratado)
Azufre	150	MgSO ₄ ·H ₂ O (sulfato de magnésio monohidratado)
Hierro	2	FeSO ₄ ·7H ₂ O (sulfato ferroso heptahidratado)
Manganeso	1	MnSO ₄ ·4H ₂ O (sulfato de manganeso tetrahidratado)
Cobre	0.1	CuSO ₄ ·5H ₂ O (Sulfato de cobre pentahidratado)
Boro	0.5	H ₃ BO ₃ (ácido bórico)
Zinc	0.1	ZnSO ₄ ·H ₂ O (sulfato de zinc monohidratado)

Durante los primeros 15 días después de la siembra (dds) la solución nutritiva se aplicó a una concentración del 50 %, y a partir de esa fecha hasta el fin de la cosecha se aplicó la concentración completa (100 %).

A los 55 días, las plantas fueron trasplantadas en camas rellenas de una capa de 25 cm de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. El ancho de las camas fue de 1 m. Se establecieron 3 hileras de plantas con una distancia de 23

cm a lo largo y 33 cm a lo ancho entre plantas. El sistema de riego consistió en dos cintillas con goteros integrados cada 20 cm a lo largo de las camas, entre las hileras de las plantas.

Desde el momento del trasplante, las plantas fueron tutoradas con el apoyo de anillos plásticos, colocados en la base del tallo y un hilo de rafia sostenida en alambres que corrían a lo largo del invernadero.

Los brotes laterales fueron eliminados conforme fueron apareciendo (entre 2 a 5 cm de longitud) por lo que las plantas fueron conducidas a un solo tallo. Una vez formadas completamente las dos hojas posteriores a la tercera inflorescencia, se removi6 la yema terminal de la planta de manera que s6lo se dejaron tres inflorescencias (racimos) por planta.

La temperatura y humedad relativa del aire fue medida con un DATALOGGER® portátil Marca EXTECH® modelo RHT10, con mediciones programadas cada 10 minutos. Las temperaturas promedio registradas por mes fueron: julio (20.9 °C), agosto (22 °C), septiembre (21 °C), octubre (20.3 °C), noviembre (18 °C) y diciembre (12 °C). Para el caso de la humedad relativa se registraron valores promedios de 70, 65, 66, 70, 71 y 79 % correspondientes a los meses de julio a diciembre, respectivamente. El sistema de calefacci6n que fue requerido durante el mes de diciembre, fue programado para encenderse autom6ticamente a 5 °C con apagado a los 8 °C.

En etapa de semillero se tuvo incidencia de trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), mismas que fueron controladas con una aplicaci6n de Spinosad® a una dosis de 0.3 g L⁻¹, y REVUS 250 SC® con Imadacloprid al 23.4 % como ingrediente activo a raz6n de 1.5 ml L⁻¹, respectivamente.

De igual manera, se presentaron cenicilla (*Leveillula taurica*), tiz6n temprano (*Alternaria solani*) y tiz6n tardío (*Phytophthora infestans*) en la etapa intermedia de desarrollo del cultivo. Para el control se aplic6 CUPRAVIT MIX® y una rotaci6n

cada ocho días entre los productos RIDOMIL GOLD® BRAVO SC de la empresa Syngenta® con Metalaxil-M como ingrediente activo a una concentración de 12 ml L⁻¹ y GARLIX® de la empresa HORTITEC® con extracto líquido de ajo (*Allium sativum*).

1.5.5. Descripción de tratamientos

Se probaron 18 tratamientos que resultaron de la combinación de:

- a) Dos condiciones de luz suplementaria (con y sin luz) de los 15 días después de la siembra (dds) hasta los 45 dds, de las 19:00 h a las 3:00 h del siguiente día.
- b) Tres dosis de aminoácidos (0, 50 y 100 ppm) aplicadas a los 15, 25, 35 y 45 días después de la siembra.
- c) Tres dosis de Paclobutrazol (0, 50 y 100 ppm) aplicadas en aspersión a los 15 y 25 días después de la siembra.

Los tratamientos se describen en el Cuadro 2.

Para los tratamientos de luz suplementaria se utilizaron lámparas de tipo Led de luz blanca de la marca Megaluz® modelo LSS002 con un gasto energético de 36 W h⁻¹ con medidas de 1.2 m de largo por 7 cm de ancho. Las lámparas fueron colocadas 15 cm por encima del dosel de las plantas procurando una intensidad de 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se colocaron de forma transversal a las charolas, con el fin de distribuir de manera más uniforme la luz en todas las plantas (Figura 3).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos probados.

Tratamiento	Aminoácidos (mg L ⁻¹)	Paclobutrazol (mg L ⁻¹)	Luz suplementaria
T1 (0A-0P-SLS)	0	0	SLS
T2 (0A-0P-CLS)	0	0	CLS
T3 (0A-50P-SLS)	0	50	SLS
T4 (0A-50P-CLS)	0	50	CLS
T5 (0A-100P-SLS)	0	100	SLS
T6 (0A-100P-CLS)	0	100	CLS
T7 (50A-0P-SLS)	50	0	SLS
T8 (50A-0P-CLS)	50	0	CLS
T9 (50A-50P-SLS)	50	50	SLS
T10 (50A-50P-CLS)	50	50	CLS
T11 (50A-100P-SLS)	50	100	SLS
T12 (50A-100P-CLS)	50	100	CLS
T13 (100A-0P-SLS)	100	0	SLS
T14 (100A-0P-CLS)	100	0	CLS
T15 (100A-50P-SLS)	100	50	SLS
T16 (100A-50P-CLS)	100	50	CLS
T17 (100A-100P-SLS)	100	100	SLS
T18 (100A-100P-CLS)	100	100	CLS

SLS: sin luz suplementaria. CLS: Con luz suplementaria.



Figura 3. Charola de 60 cavidades con tratamiento de luz suplementaria: a) Lámparas colocadas transversalmente a las charolas. b) Otra vista de tratamientos con luz led suplementaria.

Los aminoácidos fueron aplicados cada 10 días en forma de solución con agua en dos riegos consecutivos utilizándose 100 ml de solución por cavidad en cada riego (Figura 4). Estas aplicaciones fueron a los 15, 25, 35 y 45 días después de la siembra.



Figura 4. Aplicación de aminoácidos a plántulas de jitomate.

Como fuente de aminoácido se utilizó NutriAmin12[®], que es un bioestimulante foliar de la marca bioagrochemical[®] con la composición química indicada en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición química del NutriAmin12[®].

Composición química	% en peso
Aminoácidos libres	12 %
Nitrógeno total	24 %
Anhídrido fosfórico	6 %
Oxido de potasio	15 %
Materia orgánica	42.6 %
OLIGO-ELEMENTOS	
Boro (B)	0.02 %
Cobre (Cu)	0.05 %
Fierro (Fe)	0.10 %
Manganeso (Mn)	0.10 %
Zinc (Zn)	0.05 %
Molibdeno (Mo)	0.003%
Magnesio (Mg)	0.10 %
Total	100.00%

El paclobutrazol utilizado fue Cultar 25 SC[®] de la marca Syngenta[®] de suspensión acuosa color blanco-beige con una densidad de 1.09 g cm⁻³ a 20 °C soluble en agua y una proporción de 23.42 % de ingrediente activo equivalente a 250 g de ingrediente activo por litro (Figura 5a). Las charolas con los tratamientos

correspondientes a las concentraciones de 50 y 100 ppm fueron separadas de las demás para ser asperjadas y así evitar posibles contaminaciones entre tratamientos (Figura 5b).

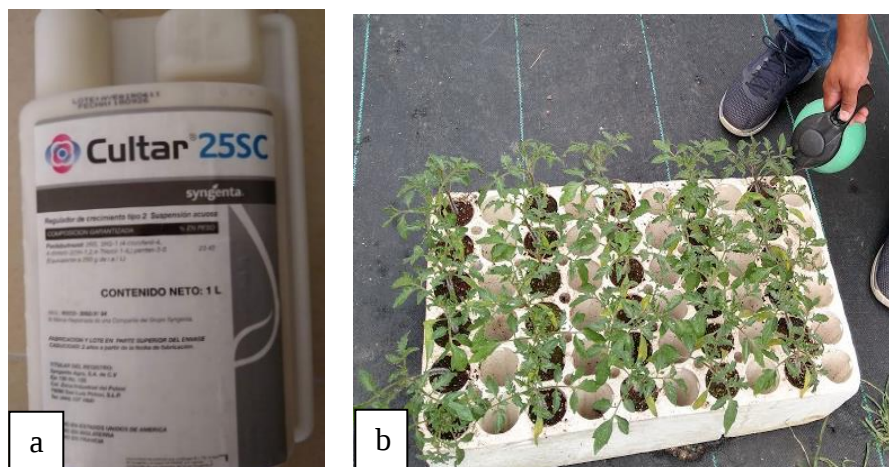


Figura 5. Paclobutrazol utilizado: 5a: Cultar 25 SC® de la marca Syngenta® 5b: aplicación de paclobutrazol a plántulas de jitomate.

Cada tratamiento ocupó una charola completa de 60 cavidades, cada columna correspondiente a una repetición de 6 plantas más seis plantas extras para el cálculo de índice de área foliar (IAF) y peso seco (PS) (Figura 6).

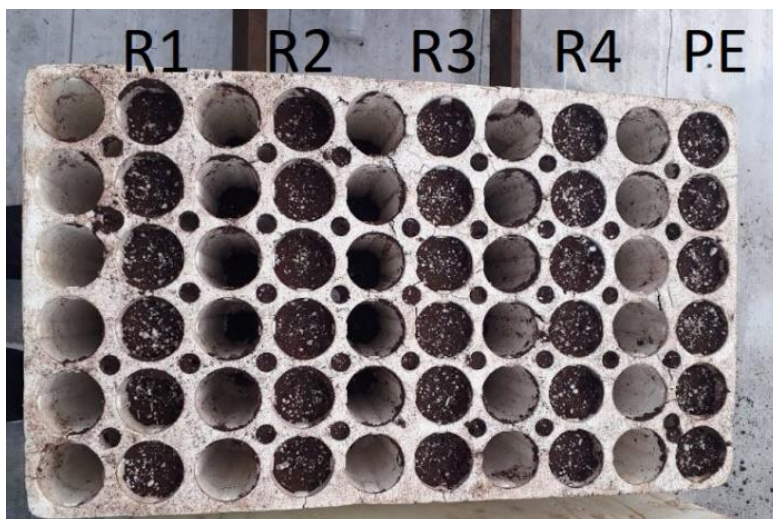


Figura 6. Distribución de tratamiento y sus repeticiones en charola de 60 cavidades. R1: Repetición 1, R2: repetición 2, R3: Repetición 3, R4: Repetición 4, PE: plantas extras.

1.5.6. Diseño experimental

Se usó el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos. Se trabajó con 4 repeticiones y un tamaño de unidad experimental de seis plántulas, procurando que cada planta tuviera competencia completa.

1.5.6.1. Variables respuesta medidas en plántulas

Las variables relacionadas a la calidad de plántula se determinaron a los 55 días después de la siembra:

- Altura de plántula (cm). Se usó un flexómetro metálico midiendo desde la base de la plántula hasta el meristemo apical.
- Diámetro de tallo (mm). Se colocó un vernier digital ($\pm 0,01$ mm) en el entrenudo entre la segunda y tercera hoja verdadera.
- Área foliar (cm²). Se tomaron dos plantas por tratamiento, se realizó muestreo destructivo para separar las hojas, las cuales se colocaron extendidas en un integrador de área foliar marca LI-COR® MODEL LI-3100 para determinar la superficie.
- Peso seco (g). Se utilizaron las mismas plantas que en la variable anterior, éstas fueron colocadas dentro de una bolsa de papel y puestas en una estufa de secado a 75°C hasta lograr peso constante; posteriormente se pesaron en una balanza granataria de precisión marca Ohaus Corporation® serie SCOUT PRO.
- Días a antesis. Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que al menos el 50% de las plantas tuvieran abertura floral.

1.5.6.2. Variables de rendimiento y sus componentes

Las variables de rendimiento y sus componentes se determinaron después del trasplante hasta la fecha del último corte:

- Número de flores por planta. Se sumó el número de flores del racimo uno, dos y tres de cada planta y posteriormente se obtuvo el promedio por planta.
- Número de frutos cosechados por planta. Se sumó el número de frutos de los tres racimos de cada planta y posteriormente se obtuvo el promedio por planta.
- Peso medio de fruto (g). Se calculó con el dato obtenido de la variable de peso total de frutos por planta dividido entre el número de frutos cosechados por planta muestreada en cada repetición y tratamiento.
- Rendimiento por planta (g). Se obtuvo el peso de los tres racimos por planta.
- Días de trasplante fin de cosecha. Se contaron los días transcurridos desde el trasplante hasta el último día corte.

1.5.7. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se aplicó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el paquete SAS (Statistical Analysis System), versión 9.4 (2014).

1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.6.1. Variables estudiadas en etapa de plántula

Las pruebas de análisis de varianza realizadas a los 55 dds, momento en que se hizo el trasplante (Cuadro 4), muestran que, entre tratamientos de aplicaciones de paclobutrazol, se tuvieron efectos altamente significativos sobre las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y peso seco. Entre tratamientos de aplicaciones de aminoácidos, hubo efectos altamente significativos solamente para altura de plántula, mientras que, para los tratamientos de luz, con excepción de peso seco, en todas las variables evaluadas se encontraron diferencias significativas. A esta edad de la plántula también se evaluó el número de días a antesis, pero en ningún caso se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Se presentaron efectos altamente significativos de interacción entre tratamientos que combinaron paclobutrazol con aminoácidos para altura de planta y área foliar y significativos para peso seco. También resultó una interacción altamente significativa entre tratamientos de aminoácidos con tratamientos de luz en relación al área foliar.

Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables medidas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes concentraciones de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) 55 días después de la siembra.

FV	GL	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área Foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Días a Antesis
PA	2	2343 **	14.4 **	295362 **	91 **	1.02 NS
A	2	77.8 **	0.9 NS	9197.2 NS	1.0 NS	0.52 NS
PA*A	4	53.8 **	0.8 NS	27010 **	5.3 *	2.44 NS
L	1	42.6 *	3.2 *	23131 *	0.1 NS	187 *
PA*L	2	16 NS	3.5 NS	17848 NS	5.1 NS	2.52 NS
A*L	2	14.2 NS	2.1 NS	28236 **	9.3 NS	0.02 NS
PA*A*L	4	83.5 NS	1.5 NS	29635 NS	8.7 NS	0.52 NS
BLOQUE	1	4.6	0.7	204.5	0	0
ERROR	51	8.1	0.6	4941.9	1.4	1.35
CV		9	11	17.8	19	2.7

*: Significativo P=0.05. **: Altamente significativo P=0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. PA: Paclobutrazol. A: Aminoácidos. L: Luz.

Las pruebas de comparación de medias por factores (Cuadro 5) arrojan los siguientes resultados:

La aplicación de aminoácidos a las dosis indicadas no afectó ninguna de las variables consideradas. Esto contrasta con resultados de autores que sí han observado respuestas a la aplicación de aminoácidos en términos de peso seco y área foliar (Tantawy *et al.*, 2009). Es posible que las dosis probadas hayan sido bajas, o bien que los aminoácidos se hayan canalizado para compensar el estrés originado por las aplicaciones de paclobutrazol durante el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Hernández y Villegas, 2006; Arjona *et al.*, 2004), lo que pudo haber inhibido su función. Solo en algunos casos particulares como los tratamientos donde no se aplicó paclobutrazol, pudo notarse un poco su efecto, expresado por más altura, área foliar y peso seco de plántula (datos no mostrados). Se sugiere revisar con más detalle las dosis por aplicar en futuras investigaciones.

Las aplicaciones de paclobutrazol en las plántulas de jitomate a los 15 y 25 dds, provocaron disminución significativa en la altura de plántula, área foliar y peso seco, respecto al tratamiento sin aplicación. Aunque entre las dosis de 50 ó 100 mg L⁻¹, no hubo diferencias significativas, el efecto fue más evidente con la dosis alta.

De acuerdo con Giovinazzo y Souza (2001) la magnitud del efecto del paclobutrazol está relacionada directamente con la dosis aplicada. Leszek y Urbanczyk (2003), indica que el alargamiento de las células en los tallos es parcialmente inhibido y a concentraciones relativamente elevadas puede provocarse un debilitamiento de las divisiones celulares, principalmente en el meristemo apical, debido a la disminución de la síntesis de giberelinas por efecto del retardador de crecimiento, pero el número de entrenudos y hojas no es afectado, generando plantas más compactas.

En el mismo Cuadro 5 se observa que las aplicaciones de paclobutrazol un aumento significativo en el grosor del tallo, sobre todo con la dosis de 100 mg L⁻¹ a los 55 dds, resultado que coinciden con Hernández y Villegas (2006), quienes reportaron que las aplicaciones de paclobutrazol incrementan el diámetro del tallo, siendo ésta una característica favorable en plántulas de jitomate pues facilita el flujo de agua y nutrientes y aumenta la resistencia al acame (Leszek y Urbanczyk, 2003). En la Figura 7 pueden notarse las diferencias entre plántulas con y sin aplicaciones de paclobutrazol.

Estas características posibilitan mantener a las plántulas más tiempo en semillero y disminuir el periodo del trasplante a fin de cosecha, utilizando el sistema de producción de tres racimos por planta con altas densidades de población, para lograr cuatro ciclos de cultivo por año en vez de tres, tal y como lo plantean Sánchez *et al.* (2021) y Moreno *et al.* (2021).

Cuadro 5. Comparación de medias de variables medidas a los 55 dds en plántulas de jitomate en respuesta a distintas concentraciones de aminoácidos aplicados a los 15, 25, 35 y 45 dds y de paclobutrazol aplicado a los 15 y 25 dds así como de luz suplementaria aplicada de los 15 a los 45 dds.

Tratamiento (mg L ⁻¹)	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Días a antesis
AMINOÁCIDOS					
0	29.0 a	6.9 a	402.1 a	6.2 a	43.3 a
50	33.9 a	7.5 a	417.4 a	6.6 a	43.1 a
100	32.4 a	7.1 a	363.6 a	6.0 a	42.8 a
DMS	13.1	0.8	178.8	1.3	2.7
PACLOBUTRAZOL					
0	47.8 a	6.5 b	575.4 a	9.5 a	42.8 a
50	25.0 b	6.5 b	310.5 b	4.8 b	43.3 a
100	22.4 b	8.4 a	297.2 b	4.6 b	43.1 a
DMS	5.5	1.1	118.2	1.9	2.7
LUZ SUPLEMENTARIA					
Sin Luz	30.7 a	6.9 a	369.0 a	6.3 a	45.3 a
Con Luz	32.9 a	7.5 a	419.7 a	6.2 a	40.8 b
DMS	8.8	0.9	118.8	2.0	0.8

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$).



Figura 7. Plantas con tratamientos de paclobutrazol® a dosis de a) 0 mg L⁻¹, b) 50 mg L⁻¹ y c) 100 mg L⁻¹.

La aplicación de luz suplementaria no influyó en ninguna de las variables evaluadas en plántula. Solamente en días antesis se observó una precocidad de cinco días respecto al tratamiento en el que no se usó luz suplementaria (Cuadro 5). Nuez (2001) expresa que el tiempo que transcurre desde siembra hasta la antesis de las primeras flores en jitomate es de alrededor de 45 días, esto siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables, resultados que coincide con lo observado en este estudio sin aplicación de luz (45 días a antesis), mientras que, con luz adicional, la antesis ocurrió a los 40 días. Contreras (2009) por su parte, reportó que la luz suplementaria acelera la floración en jitomate hasta por 10 días, coincidiendo con lo mostrado en el presente experimento en el sentido de que la luz suplementaria aceleró la floración.

En la Figura 8 se muestra gráficamente la interacción significativa de paclobutrazol x aminoácidos para la variable altura de plántula a los 55 dds. Esta interacción se explica porque con los tratamientos sin paclobutrazol y con paclobutrazol a una dosis de 50 mg L⁻¹, la altura de la plántula aumentó con las aplicaciones de aminoácidos, sobre todo con la dosis de 100 mg L⁻¹, pero cuando la dosis de paclobutrazol aplicada fue mayor (100 mg L⁻¹), la altura resultó más afectada a medida que se incrementó la concentración de aminoácidos. Este comportamiento presentó un efecto antagónico para altura de plántula entre el

paclobutrazol, cuyo efecto retardante del crecimiento impulsa una reducción de la altura (Leszek y Urbanzyk, 2003) y los aminoácidos que estimulan el crecimiento (García, 2011).

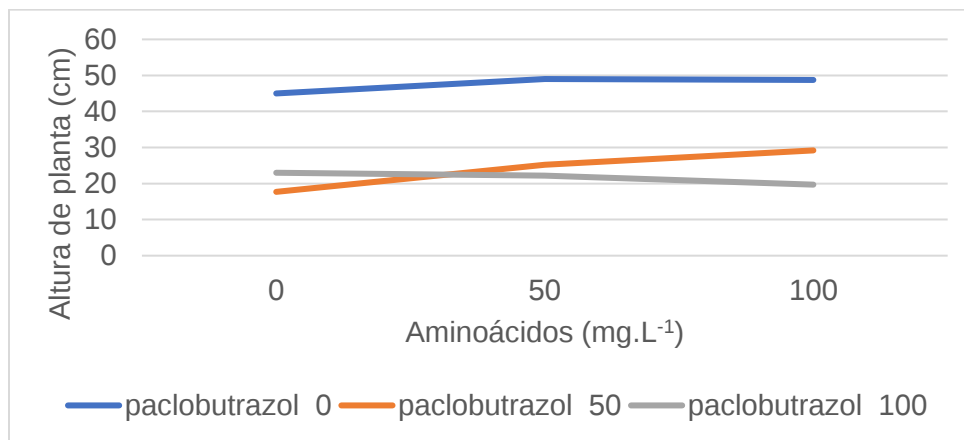


Figura 8. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en altura de planta a los 55 días después de la siembra.

Un comportamiento similar de interacción significativa entre paclobutrazol y aminoácidos se observa en las variables área foliar (Figura 9) y peso seco (Figura 10); la explicación de estos comportamientos es muy similar a la expuesta en el párrafo anterior.

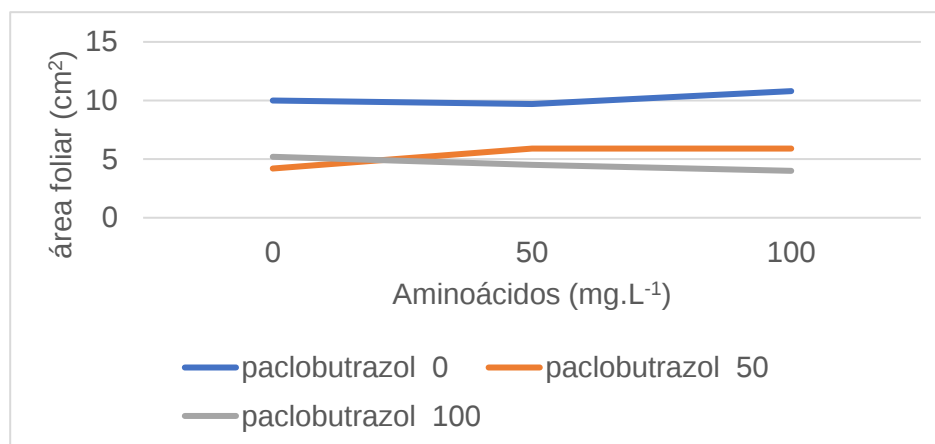


Figura 9. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en área foliar a los 55 días después de la siembra.

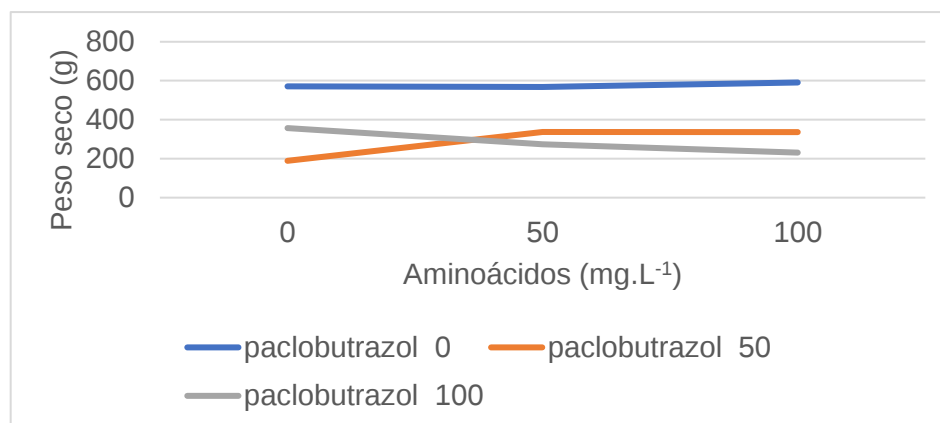


Figura 10. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en peso seco a los 55 días después de la siembra.

La interacción aminoácidos x luz para área foliar, resultó significativa, porque sin luz suplementaria, el área foliar casi no cambió al aplicarse más aminoácidos, pero cuando las plántulas recibieron luz suplementaria, el área foliar disminuyó (Figura 11). Una posible respuesta a este comportamiento puede ser que la planta al recibir el estímulo de luz, no tenga necesidad de formar más área foliar para continuar su crecimiento y seguir acumulando materia seca, es decir, el aparato fotosintético de la planta funciona mejor con la luz suplementada, por ello no requiere hacer crecer su área foliar.

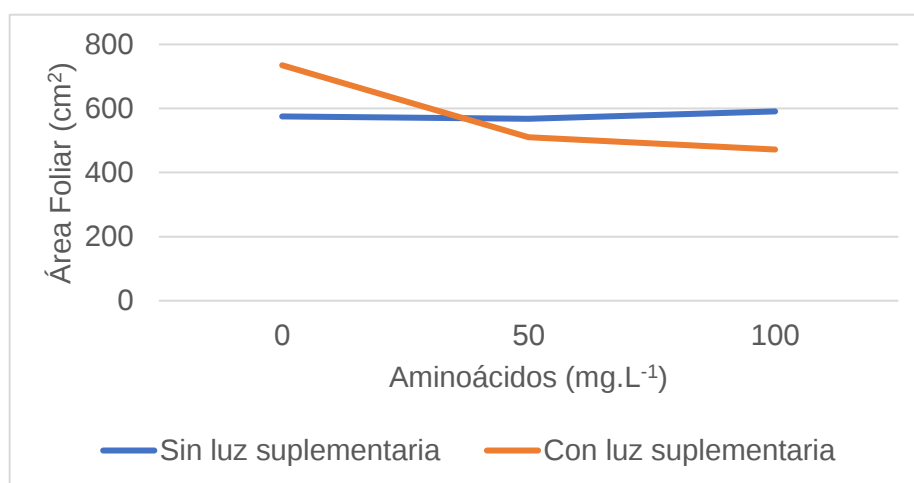


Figura 11. Interacción aminoácidos x luz en área foliar a los 55 días después de la siembra.

1.6.2. Variables del rendimiento y sus componentes

Los análisis de varianza relacionados con las variables del rendimiento y sus componentes (Cuadro 6) muestran que entre tratamientos de paclobutrazol aplicados a las plántulas en semillero, se tuvieron diferencias altamente significativas en el número de frutos por planta, peso medio de fruto, rendimiento por planta y días del trasplante a fin de cosecha, lo mismo entre tratamientos de luz, excepto en días transcurridos de trasplante a fin de cosecha. Entre tratamientos de aminoácidos, únicamente se tuvieron efectos significativos en el número de frutos por planta. Ninguno de los tratamientos afectó el número de flores por planta. También se observaron efectos de interacción altamente significativos de paclobutrazol x aminoácidos en el número de frutos por planta y en rendimiento por planta.

Cuadro 6. Análisis de varianza y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate creciendo con diferentes concentraciones de paclobutrazol (0, 50 y 100 mg L⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz).

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
PA	2	0.2 NS	113.5 **	5023.7 **	4308588.7 **	111.3 **
A	2	1.6 NS	28.2 **	256.8 NS	42587.1 NS	4.4 NS
PA*A	4	0.3 NS	13.9 **	177.5 NS	270385.1 **	11.9 NS
L	1	0.6 NS	24.9 **	2008.4 **	820800.8 **	4.6 NS
PA*L	2	1.4 NS	9.8 NS	444.1 NS	227191.5 NS	33.7 NS
A*L	2	3.8 NS	7.5 NS	52.7 NS	93796.8 NS	19.7 NS
PA*A*L	4	8.1 NS	4.4 NS	110.4 NS	45586.4 NS	15.0 NS
BLOQUE	1	3.8	8.7	176.5	193030.8	5.3
ERROR	51	6.1	3.0	162.8	60296.2	24.4
CV		13.98	11.8	13.6	17.8	4.9

*: Significativo P=0.05. **: Altamente significativo P=0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. PA: Paclobutrazol. A: Aminoácidos. L: Luz.

Aunque se tuvieron efectos altamente significativos de interacción entre tratamientos de paclobutrazol x aminoácidos en número de frutos y rendimiento

por planta, el Cuadro 7, deja más claro los efectos principales de los tres factores evaluados:

En primer lugar, la aplicación de aminoácidos no modificó el número de flores por planta ni el periodo de trasplante a fin de cosecha; y aunque permitió el amarre de dos frutos más por planta, el peso medio de frutos y el rendimiento final por planta fue igual al tratamiento sin aplicación. Es posible que las dosis del aminoácido utilizadas en el presente estudio pudieron haber aumentado temporalmente las concentraciones de los nutrientes en los tejidos vegetales, estimulando el crecimiento de las plantas como lo citan varios autores (García *et al.*, 2011; Ghasemi *et al.*, 2014; Souri *et al.*, 2017 y Zhang *et al.*, 2009). Agregar aminoácidos conjuntamente a la solución nutritiva en plantas de tomate puede aumentar el contenido de clorofila, antioxidantes y actividad enzimática de las plantas, debido a que estos son precursores de la síntesis de proteínas, y que, al ser una forma reducida de nitrógeno, no necesitan ser reestructurados para su absorción, estimulando un mayor crecimiento (Souri 2009, Ghohame *et al.*, 2012; Souri, 2016). Sin embargo, dado que las aplicaciones se hicieron en etapa de plántula, posiblemente sus efectos no perduraron hasta la época de cosecha y ya no se reflejaron en el rendimiento al final del ciclo.

El uso de paclobutrazol en las plántulas tampoco afectó el número de flores por inflorescencia, pero sí provocó una disminución en el número y peso medio de frutos por planta y, en consecuencia, en el rendimiento final. De los componentes del rendimiento, el número de frutos por planta fue el más afectado con el aumento de la concentración de paclobutrazol, por lo que con la aplicación de 100 mg L⁻¹ de este retardador, se produjo el rendimiento más bajo. Diouf *et al.* (2018) señalan que la calidad del fruto y la biosíntesis de metabolitos se ve afectado por las condiciones de crecimiento de las plantas. Seguramente el utilizar una doble aplicación a dosis de 100 mg L⁻¹ de Paclobutrazol afectó fuertemente el crecimiento de la plántula, y tuvo consecuencias negativas significativas en los componentes de rendimiento (número de frutos por planta y

peso medio de frutos) y, por lo tanto, en el rendimiento final. Incluso hubo un ligero retraso en la cosecha.

En el presente trabajo, el tratamiento en el que no se hizo aplicación alguna de aminoácidos ni de luz suplementaria, pero si doble aplicación de 100 mg L⁻¹ de paclobutrazol a los 15 y 25 dds, fue el que tuvo menos flores (13.4) y menos frutos por planta (8.9), además, sus frutos solamente alcanzaron un peso medio de 74.2 gramos, y en consecuencia dieron el menor rendimiento por planta (637 g). Este comportamiento puede deberse a que el paclobutrazol en altas concentraciones, inhibió la formación de giberelinas (Leszek y Urbanczyk, 2003) a tal grado que afectó la formación y desarrollo de los primordios florales de los primeros racimos.

La adición de luz suplementaria, no aumentó el número de flores por inflorescencia, pero sí incremento el rendimiento, debido a que las plántulas que recibieron luz, desarrollaron frutos de mayor peso. Posiblemente la luz suplementaria aplicada en la etapa de semillero haya inducido la formación de flores y frutos con un mayor número de células al dejar un poco más de azúcares disponibles a los primordios florales en desarrollo, lo que pudo haber permitido que se formaran frutos con mayor peso, ya que, en número de frutos, no hubo diferencias entre aplicar o no luz suplementaria. Tampoco hubo diferencias en el tiempo transcurrido de trasplante a fin de cosecha. Estas respuestas se correlacionan con una aceleración de la cadena de transporte de electrones y con el aumento en la biosíntesis de la RUBISCO (Benavides, 2004) permitiendo un crecimiento compacto y poca área foliar, pero con un incremento en el número de células receptoras de luz (Volkenburgh *et al.*, 1990), que promueven mayores rendimientos (Black, 1992; Drozdova *et al.*, 1987).

Individualmente, el Tratamiento que produjo el mayor rendimiento por planta (1981 g) fue el que combinó aplicaciones de 100 ppm de aminoácidos y suplemento de luz en la etapa de semillero sin adición de paclobutrazol; y aunque

superó estadísticamente a varios tratamientos fue estadísticamente igual al testigo sin aplicaciones de aminoácidos, paclobutrazol y luz suplementaria.

Cabe mencionar que este rendimiento equivalió a 15.8 kg m⁻² o 158 ton ha⁻¹ y fue obtenido en un ciclo de 100 días, por lo que, en las condiciones en que se condujo el experimento, potencialmente se pueden obtener tres ciclos por año equivalentes a un rendimiento potencial de 474 ton ha⁻¹.

Cuadro 7. Comparación de medias de variables medidas de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate creciendo con diferentes dosis para los factores paclobutrazol (0, 50 100 mg L⁻¹), aminoácidos (0, 50 y 100 mg L⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) con base en el promedio de tratamientos.

Tratamiento (mg L ⁻¹)	Flores por planta	Frutos por planta	Peso medio de fruto	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
AMINOÁCIDOS					
0	17.3 a	13.4 b	97.8 a	1334.9 a	100.8 a
50	17.8 a	15.6 a	92.9 a	1412.4 a	101.6 a
100	17.8 a	14.9 a	91.6 a	1402.3 a	100.9 a
DMS	1.7	1.2	8.9	171.1	3.4
PACLOBUTRAZOL					
0	17.7 a	16.9 a	110.3 a	1857.1 a	99.1 b
50	17.6 a	14.6 b	89.8 b	1251.8 b	103.3 a
100	17.5 a	12.5 c	82.4 b	1040.8 c	100.9 ab
DMS	1.7	1.2	8.8	171.1	3.2
LUZ SUPLEMENTARIA					
Sin luz	17.5 a	14.1 a	88.9 b	1276.4 b	100.9 a
Con luz	17.7 a	15.3 a	99.4 a	1490.0 a	101.4 a
DMS	1.1	1.3	8.3	212.6	2.4

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05).

El experimento también pretendía mostrar que con el trasplante a los 55 dds se podría lograr acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a 90 días o menos. Probablemente el ciclo se alargó porque la temperatura promedio del mes de noviembre y sobre todo del mes de diciembre (Figura 12). fueron bajas ocasionando un retraso importante en el desarrollo. En otros casos, donde el trasplante se ha realizado a los 55 o 60 dds y las condiciones de temperatura han

sido mejores, se han logrado ciclos menores a 90 días (Moreno *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2021), por lo que si se hubiera empleado calefacción, o el experimento se hubiera llevado a cabo en otra época del año, o en una localidad con una media de temperatura mayor para los meses de noviembre y diciembre, se podrían obtener hasta cuatro ciclos por año con un rendimiento potencial que superaría las 600 ton ha⁻¹ año⁻¹.

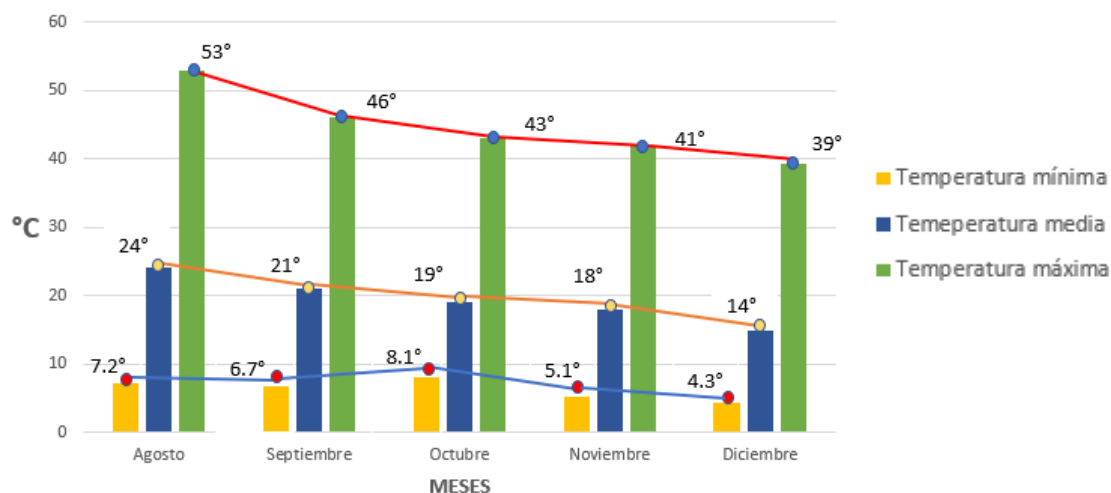


Figura 12. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo del experimento.

Las interacciones significativas de paclobutrazol x aminoácidos en relación con el número de frutos por planta (Figura 13) y rendimiento por planta (Figura 14), se explican porque al no aplicarse paclobutrazol o con aplicaciones de éste producto solamente a 50 mg L⁻¹, tanto el número de frutos como el rendimiento por planta, tendieron a incrementarse a medida que la dosis de aminoácidos aplicada también se aumentó, pero con aplicaciones de 100 mg L⁻¹ de paclobutrazol, además de que el número de fruto y rendimiento por planta fue menor, con la dosis de 50 mg L⁻¹ de aminoácidos dichas variables también se incrementaron, pero al aumentarse la dosis de aminoácidos a 100 mg L⁻¹, tanto el número de frutos como el rendimiento por planta volvieron a disminuir, lo que sugiere que dos aplicaciones de 100 mg L⁻¹ de paclobutrazol en el semillero son excesivas y sus efectos repercuten posteriormente en el número de frutos amarrados y, consecuentemente en el rendimiento final. 50 mg L⁻¹ de

aminoácidos contrarrestaron un poco el efecto del exceso de Paclobutrazol, sin embargo 100 mg L⁻¹ de aminoácidos ya no lo hicieron. Una posible respuesta puede ser que la planta al recibir el estímulo de luz suplementaria, no tenga necesidad de formar más área foliar para continuar su crecimiento y seguir acumulando materia seca, es decir, el aparato fotosintético de la planta funciona mejor con la luz suplementaria, por ellos no requiere hacer crecer su área foliar, sin embargo, se sugiere la realización otro experimento para estudiar su efecto más a fondo.

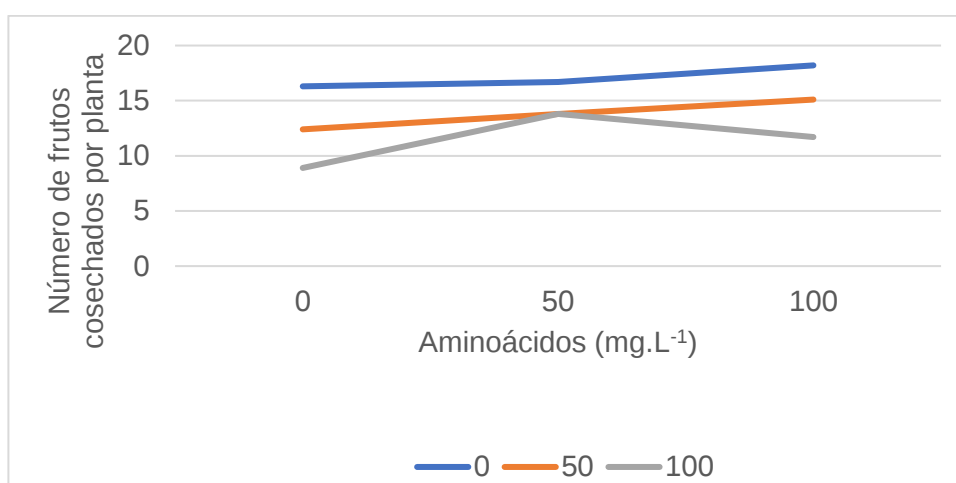


Figura 13. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en número de frutos por planta.

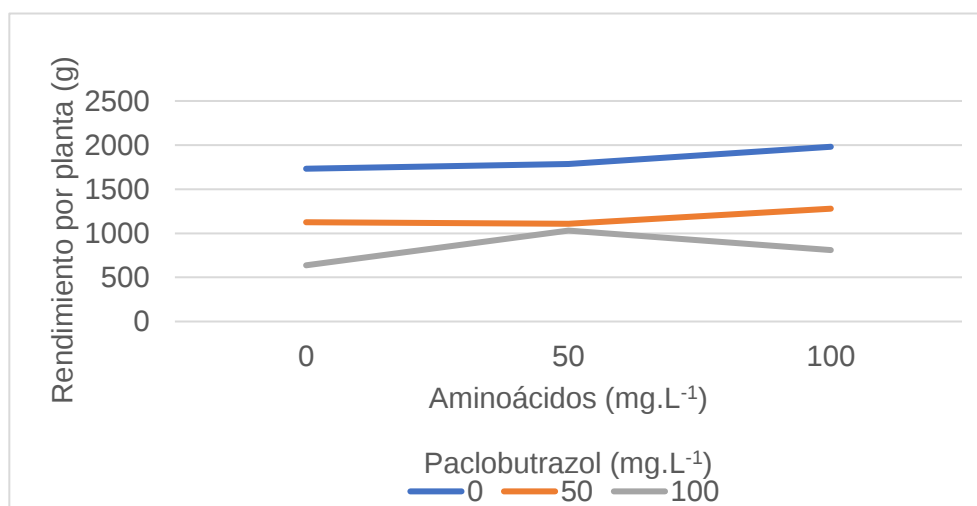


Figura 14. Interacción paclobutrazol x aminoácidos en rendimiento por planta.

1.7. CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de aminoácidos, paclobutrazol y luz suplementaria, lo mismo que el testigo sin aplicaciones, ni luz suplementaria, dieron lugar a plántulas con vigor y calidad capaces de ser trasplantadas a los 55 días después de la siembra.

El paclobutrazol con dosis de 100 mg L^{-1} redujo la altura y el área foliar y provocó un mayor diámetro de tallo en plántulas de jitomate.

Las aplicaciones de paclobutrazol, aminoácidos o de luz LED suplementaria, no favorecieron el número de flores por inflorescencia ni el número de frutos por planta.

La aplicación de luz suplementaria de las 19:00 a las 3:00 h durante 30 días en plántulas, permitió incrementos en el peso medio de fruto y el rendimiento por planta.

Dos aplicaciones de paclobutrazol a plántulas de jitomate, con dosis de 50 ó 100 mg L^{-1} disminuyeron el número y el peso medio frutos, afectando a su vez el rendimiento final por planta.

1.8. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. M. 2012. Efecto de luz suplementaria en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 96 p.
- Arjona, H. D.; Herrera, J. E.; Gómez J. A.; Ospina, J. 2004. Evaluation of the application of urea, molasses and amino acids on growth and yield of onion plants (*Allium cepa* L.) in the Bogotá Savanna. *Agronomía Colombiana*, 22 (2): 177-184.
- Asociación Mexicana de Agricultura protegida AC (AMAPAC). 2020. Disponible en: <http://amhpac.org/2018/images/PDFoficial/HorticulturaenMexico.pdf> (Consultado en enero de 2021).
- Azcón, B.; Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill/ Interamericana de España. Aravaca, Madrid. 651 p.
- Benavides, M. A. 2004. Respuesta y adaptación de las plantas a la irradiancia y balance espectral. Departamento de horticultura. Universidad Autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila México. 51 p.
- Black, L. A. 1992. Is There Any Light in Your Future. *Grower Talks*, 55 (12): 71.
- Castellanos, J. Z.; Borbón, M. C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. Manual de producción de tomate en invernadero. JZ Castellanos. Editorial Intagri. Pp: 1-18.
- Charles, E. D.; Doley, A. D.; Rimmington, G. M. 1986. Modeling plant growth and development. Academic Press. Sidney, Australia. 235 p.
- Dieleman, A. J.; Heuvelink, J. A. 1992. Factors affecting the number of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *Journal of Horticultural Science*, 67 (1): 1-10.
- Diouf, I. A.; Derivot, L.; Bitton, F.; Pascual, L.; Causse, M. 2018. El déficit de agua y el estrés por salinidad revelan muchos QTL específicos para el crecimiento de las plantas y los rasgos de calidad de la fruta en el tomate. *Frontiers in Plant Science*, 9: 279.
- Drozdova, I. S.; Bondar, V. V.; Voskresenskaya, N. P. 1987. Joint effect of light-regulated reactions by red and blue Light on photosynthesis and morphogenesis in radish plants. *Fiziologiya Rastenii*, 34: 786-794.
- Enza Zaden. 2021. Disponible en: <https://www.enzazaden.com/mx/products-and-services/our-products/Tomates/Paipai> (Consultado en febrero de 2021).

- García, A. L.; Madrid, R.; Gimeno, V.; Ortega, W. R.; Nicolás, N.; Sánchez, F. G. 2011. Los efectos de la fertilización con aminoácidos incorporados a la solución nutritiva sobre la composición mineral y el crecimiento en plántulas de tomate. *Revista Española de Investigaciones Agrarias*, 3: 852-861.
- Ghasemi, S.; Khoshgoftarmanesh, A. H.; Afyuni, M.; Hadadzadeh, H. 2014. Iron (II)–amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, 165: 91-98.
- Giovinazzo, R.; Souza, M. V.; Hartz, T. K. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae*, 542(1): 355-358.
- Hernández, A. E. M.; Villegas, T. O. 2006. Respuesta de las plantas de tomate rojo (*Solanum Lycopersicum* Mill.) a bioestimulantes de crecimiento. Memoria 4° encuentro de jóvenes investigadores. Guerrero, México, 7(2).
- Heuvelink, E. 2018. Tomatoes In: Heuvelink, E. (Ed.), Tomatoes 2da edition. Wallingford, UK: CABI. 378 p.
- Heuvelink, E. y Dorais, M. 2005. Crop Growth and Yield. Cambridge. USA, 85-143.
- Jokinen, K.; Sarkka, L. E. y Nakkila, J. 2012. Improving sweet pepper productivity by led interlighting. *Acta Horticulturae*, 956: 59-66.
- Leszek, S. J.; Urbanczyk, de E. A. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 483 p.
- Méndez, G. T.; Sánchez, del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 11(1): 185-192.
- Moreno, P. E. del C.; Ruíz, D. M.; Contreras, M. E.; Sánchez, del C. F. 2021. Efecto de densidades de población y aplicaciones de paclobutrazol en calidad de plántula y rendimiento en jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27 (1): 5-17.
- Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mil). *Journal Horticulture Science*, 59: 1-13.

- Pisarczyk, J. M.; Splittstoesser, W. E. 1979. Controlling tomato transplant height with chlormequat, daminozide, and ethephon. Illinois University, department of horticulture. USA. Journal Horticulture Science, 104 (3): 342-344.
- Ponce, O. J.; Sánchez, del C. F.; Contreras, M. E.; Corona, S. T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Fitotecnia Mexicana, 23 (1): 87-97.
- Portillo, M. L. 2020. Efectos de luz suplementaria sobre calidad de plántulas y números de flores por racimo en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 165 p.
- Rojas, M.; Rovalo, M. 1985. Fisiología vegetal aplicada. McGraw-Hill, 302 p.
- Saborío, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización foliar. In: Meléndez, G. y Molina, E. (eds.). Memorias Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Universidad de Costa Rica. Pp: 107-124.
- Sánchez, del C. F. y Ponce, O. J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura, 4 (2): 89-94.
- Sánchez, del C. F., Ortiz, C. J., Mendoza, C. C., González, H. V. A., Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Fitotecnia Mexicana, 21 (1): 1-13.
- Sánchez, del C. F.; Corona, S. T. 1994. Evaluación de Cuatro Variedades de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un Sistema Hidropónico de Producción a Base de Despuntos y Altas Densidades. Revista Chapingo, Serie Horticultura, 1 (2): 109-114.
- Sánchez, del C. F.; Bastida A. O.; Moreno, P. E. del C.; Contreras, M. E. y Sahagún, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. Revista Chapingo Serie Horticultura, 20 (3): 48-59.
- Sánchez, del C. F.; Moreno P., E. del C.; Morales, M. A.; Peña, L. A., Colinas, L. M. T. 2012. Densidad de población y volumen de sustrato en Plántulas de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Agrociencia, 46 (3): 255-266.

- Sánchez, del C., F.; Moreno, P. E. del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura Protegida No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 405 p.
- Sánchez, del C. F.; Portillo, M. L.; Moreno, P. E. del C.; Magdaleno, V. J. J.; Vázquez, R. J. C. 2021. Effects of container volume and seedling density on late transplanting and number of flowers in tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(2): 71-84.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. disponible en: <https://www.gob.mx/siap>. (Consultado en enero de 2021).
- Souri, M. K. 2016. Aminocheilate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agric*, 1: 118-123.
- Souri, M. K.; Neumann, G.; Roemheld, V. 2009. Nitrogen forms and water consumption in tomato plants. *Horticulture Environ Biotechnology*, 50: 377-383.
- Souri, M. k.; Sooraki, F. Y.; Moghadamyar, M. 2017. Crecimiento y calidad de pepino, tomate y judía verde bajo aplicaciones foliares y al suelo de un fertilizante con aminoquelato. *Horticultura, medio ambiente y biotecnología*, 58 (6): 530–536.
- Tantawy, A. S.; Abdel, M. A. M. R.; El Nemr, M. A.; Chamoun, Y. G. 2009. Alleviation of salinity effects on tomato plants by application of amino acids and growth regulators. *European Journal of Scientific Research*, 30 (3): 484-494.
- Trouwborst, G.; Schapendonk, H. C. M.; Rappoldt, K.; Pot, S.; Hogewoning, S.W.; Van, I. W. 2011. The effect of intracanalopy lighting on cucumber fruit - model analysis. *Scientia Horticulturae*, 129 (2): 273-278.
- Villegas, T. O.; Lozoya, S. H. 1991. Efecto del paclobutrazol (PBZ) sobre nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* W.) cultivar Gutbier V-10, bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. Chapingo Serie Horticultura, 73-74.
- Volkenburgh, E. V.; Cleland, R. E. 1990. Expansión celular estimulada por luz en hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). El crecimiento puede ocurrir sin fotosíntesis. *Planta*, 182 (1): 72-76.
- Zhang, S.; Hu, F.; Li, H.; Li, X. 2009. Influence of earthworm mucus and amino acids on tomato seedling growth and cadmium accumulation. *Environ Pollut*, 157: 2737-2742.

CAPÍTULO 2. EFECTOS DE CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN PRESENCIA DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULAS DE JITOMATE Y NÚMERO DE FLORES POR PLANTA

2.1. RESUMEN

Con el manejo de las plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en alta densidad de población y despunte del ápice de crecimiento para solamente tres racimos por planta, el rendimiento anual, depende del número de ciclos de cultivo por año y del rendimiento de cada uno de los racimos por planta en cada ciclo, por lo que se llevó a cabo el presente trabajo con el objetivo el obtener plantas de calidad capaces de ser trasplantadas hasta los 50 a 60 días después de la siembra para lograr un ciclo de cultivo en menos de 90 días del trasplante a fin de cosecha, y con ello cuatro ciclos de cultivo al año, así como promover el desarrollo de más flores por inflorescencia para incrementar el rendimiento por planta. Fueron evaluados 18 tratamientos, producto de la combinación de tres concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹), tres de fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹), y la aplicación o ausencia de luz suplementaria en etapa de plántula, sobre variables morfológicas relacionadas con la calidad de plántulas al momento del trasplante, y sobre el número de flores y el rendimiento por planta. Las plántulas fueron obtenidas en charolas de 60 cavidades con un volumen de 250 cm³ por cavidad y trasplantadas a los 52 días después de la siembra (dds). posteriormente fueron despuntadas dos hojas por arriba de la tercera inflorescencia. La densidad de población fue de 8 planta m⁻² de invernadero. Se trabajó con el cultivar Pai Pai, cuyas plantas son de hábito de crecimiento indeterminado y frutos tipo saladette. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones y seis plantas como unidad experimental. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que con una solución nutritiva que contenía 200 mg L⁻¹ de nitrógeno, aumentó la altura de plántula respecto a una solución nutritiva con 100 mg L⁻¹, pero no aumentó el diámetro de tallo, el área foliar ni el peso seco. Las dosis de fósforo empleadas no tuvieron efecto en el crecimiento de las plántulas, pero la aplicación de luz led suplementaria, redujo la altura de plántula y aumentó el peso seco. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo probadas, y la aplicación de luz led suplementaria, no incrementaron el número de flores ni el rendimiento por planta, y el ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha duró en promedio 102 d.

Palabras claves: Nitrógeno, fósforo, Luz suplementaria, calidad de trasplante.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Juana Pérez Martínez.

Director de tesis: Esaú del Carmen Moreno Pérez.

2.2. INTRODUCCIÓN

En México, la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) alcanzó 3.4 millones de toneladas en el año 2019 (SIAP, 2020), siendo ésta la hortaliza de mayor producción bajo agricultura protegida (malla sombra e invernadero) al representar el 70 % de la superficie total con 15,973 hectáreas (AMHPAC, 2020; Mundo *et al.*, 2020). Las exportaciones de jitomate cultivado bajo agricultura protegida, ha crecido en los últimos años, y México se posiciona entre los países que más exportan dicha hortaliza con un volumen de 1,684,766 toneladas al año (SIAP, 2020; AMHPAC, 2020).

En la universidad Autónoma Chapingo se ha desarrollado un sistema de producción de jitomate bajo invernadero con validación comercial, en el que potencialmente es posible obtener hasta 500 t ha⁻¹ año⁻¹ como resultado del establecimiento de tres ciclos de cultivo al año en lugar de uno, como de manera convencional se practica en Europa y Canadá, y en varias empresas bajo invernadero en México (Sánchez *et al.*, 1999; Ponce *et al.*, 2000), el uso de plántulas de 45 días al momento del trasplante y el establecimiento de densidades de población de 8 plantas m⁻², en el que las plantas son despuntadas (eliminación del ápice) dos hojas arriba del tercer racimo (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2015).

El potencial de rendimiento de dicho sistema depende principalmente del número de ciclos que se obtengan por año y del peso de los frutos obtenidos en los tres primeros racimos, por lo que reducir el periodo de duración del ciclo de cultivo dentro del invernadero de producción a menos de 90 d del trasplante a fin de cosecha, con el fin de obtener cuatro ciclos al año, y a la vez promover la formación de más primordios florales y frutos cuajados en cada racimo, son elementos que permitirían incrementar de manera significativa el rendimiento anual por unidad de superficie.

Para poder obtener cuatro ciclos de cultivo al año, es necesario realizar el trasplante con plántulas de 50 a 60 días después de la siembra (Sánchez *et al.*, 2012; Moreno *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2021). La edad del trasplante se asocia con las condiciones ambientales y manejo del almácigo (Leskovar, 2001). Plántulas con edades avanzadas presentan un mayor desarrollo reproductivo por lo que tienden a florecer de manera prematura generando una producción y maduración de frutos más rápida, además de incluir entrenudos cortos, tallos gruesos, hojas de menor tamaño, pero mayor espesor a lo habitual (Sánchez *et al.*, 1999). Vázquez *et al.* (2007) y Romano *et al.* (2003) y Sánchez *et al.* (2021), señalan que, para obtener plántulas de calidad a los 60 días de edad, es necesario el uso de contenedores con volúmenes de al menos 250 cm³ y una correcta densidad de plantas por charola con el fin de no afectar el rendimiento final.

Uno de los factores más importantes para el adecuado desarrollo de las plantas y obtención de plántulas con calidad al trasplante, es la intensidad o cantidad de luz que cada una de éstas reciba. Aguirre (2020) expresa que la cantidad y calidad de luz puede modificarse para promover la producción de metabolitos especializados, lo cual influye en los procesos morfogénéticos de la planta (Meisel *et al.*, 2011). La aplicación de luz suplementaria bajo condiciones de semillero influye en la fotosíntesis, apertura y conductancia estomática, transpiración, y contenido de clorofila, lo que impulsa el crecimiento y precocidad, influyendo sobre la velocidad del desarrollo y el número de flores de las inflorescencias por planta (Aguilar, 2012; Gajc *et al.*, 2013; Calvert, 1964; Contreras, 2007; Sánchez *et al.*, 2021). Por lo tanto, la aplicación de luz suplementaria en jitomate puede favorecer el crecimiento y rendimiento debido a que se promueve una mayor tasa de fotosíntesis por planta por día, lo que genera cambios morfológicos, así como incrementos en el número de frutos por planta (Jokinen *et al.*, 2012; Trouwborst *et al.*, 2011).

Otro factor que influye en el número de primordios florales que se desarrollan previos a la floración y por ende en la producción por planta, es la nutrición mineral, particularmente la disponibilidad de nitrógeno y fósforo desde etapas tempranas del desarrollo (Basoccu, 1992; Basoccu, 1995; Gaytán *et al.*, 2016; Coutinho *et al.*, 2014). Fisher (1969), estudió dos niveles de nitrógeno antes y después de la iniciación del primer racimo, y encontró que con niveles altos de nitrógeno se produce floración más temprana.

Por otra parte, Rodríguez (1998) y Ruiz y Rathgeb (1990), señalan que con altas concentraciones de fósforo se obtienen plantas con más vigor, mayor diferenciación de botones florales y una floración temprana. Destacan que la adición de altas dosis de fósforo en etapa de plántula, posibilita un desarrollo vegetativo más acelerado y, como consecuencia, una producción precoz.

Con base en lo anterior, en el presente trabajo se planteó obtener plántulas de jitomate con vigor y calidad capaces de ser trasplantadas entre los 50 y 60 días de edad, sin efectos adversos posteriores al trasplante, para lograr cuatro ciclos de cultivo al año, lo que supone un aumento en el rendimiento del orden del 25 %, respecto al que se logra con tres ciclos. Así mismo se busca promover más flores y frutos en los tres primeros racimos de cada planta mediante la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y uso de luz suplementaria durante el proceso de diferenciación floral de las tres primeras inflorescencias, y lograr con ambas estrategias incremento importante en el rendimiento por planta y por unidad de superficie.

2.3. OBJETIVO

Evaluar el efecto de la aplicación de tres concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹) y fósforo (25, 50, 75 mg L⁻¹) con y sin aplicación de luz suplementaria sobre variables morfológicas relacionadas con la calidad de plántulas de jitomate, para ser trasplantadas entre los 50 y 60 días después de la siembra, y su efecto posterior sobre el número de flores por planta y el rendimiento.

2.4. HIPÓTESIS

La aplicación de luz suplementaria aunado al aumento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo, previo y durante el periodo de iniciación floral y formación de las tres primeras inflorescencias en plántulas de jitomate, favorecerá el incremento de la tasa fotosintética diaria, permitiendo obtener más azúcares disponibles para los primordios florales que se están diferenciando, lo que permitirá un mayor número de flores, y por consiguiente más frutos por planta, además de lograr obtener plántulas con calidad para ser trasplantadas de los 50 a 60 días después de la siembra, sin que con ello se afecte el rendimiento.

2.5. MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo del 10 de julio al 16 de diciembre del 2019 en condiciones de invernadero y consistió en dos fases: una de semillero y otra de producción. Los invernaderos se encuentran ubicados en el área de posgrado perteneciente al campo experimental del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en el Estado de México con la siguiente ubicación geográfica: 19°29'35.3" LN y 98°52'21.1" LW, y una altitud de 2250 m.

2.5.2. Características del invernadero

Los invernaderos utilizados fueron de tipo capilla con cubierta de polietileno térmico de alta dispersión de luz con superficies de 300 m² y 500 m², respectivamente, ambos de tecnología intermedia. El control de las condiciones ambientales se llevó a cabo mediante 1) la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y protección con malla antiáfidos para evitar la entrada de insectos plaga; 2) un sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa que ayudaba a controlar las bajas temperaturas, y 3) un sistema de muro húmedo y extractores que permiten controlar dentro de ciertos límites las altas temperaturas y baja humedad relativa. El suelo estaba cubierto con ground cover blanco que ayudaba a mejorar la reflexión de luz, haciéndola más difusa. Durante esta etapa, se procuró mantener temperaturas diurnas entre 15 y 25° C, y nocturnas entre 10 y 18° C.

2.5.3. Material vegetal

Se trabajó con el híbrido "Pai-Pai" de jitomate, de hábito de crecimiento indeterminado y frutos tipo saladette, de la empresa Enza Zaden. La planta se caracteriza por presentar entrenudos cortos y precocidad a cosecha, larga vida de anaquel sin problemas de maduración, así como firmeza y brillo rojo intenso de sus frutos (Enza Zaden, 2021).

2.5.4. Conducción del experimento

Durante la etapa de semillero se utilizaron charolas de poliestireno de 60 cavidades, con una separación de 10 x 5 cm entre cada cavidad y un volumen de 250 cm³ por cavidad, de las cuales se utilizaron 30 cavidades divididas en 5 hileras que fueron alternadas con hileras vacías (Figura 15). Como sustrato se utilizó una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v).

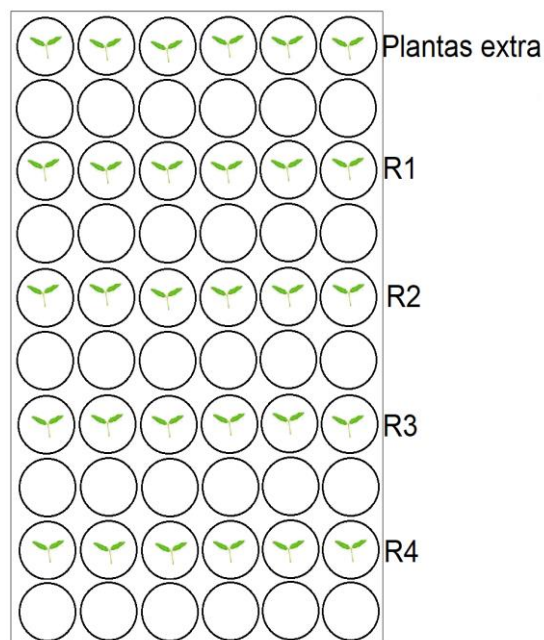


Figura 15. Vista aérea de una charola de 60 cavidades establecida por tratamiento. R1: Repetición 1; R2: Repetición 2; R3: Repetición 3; R4: Repetición 4.

Las plántulas fueron irrigadas con distintas soluciones nutritivas según el tratamiento, derivadas de la combinación de los tres niveles de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹) y de fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹), tal como se muestra en el Cuadro 8. Los demás nutrientes de las soluciones nutritivas se manejaron en las concentraciones (mg L⁻¹) siguientes: Potasio, 200; Calcio, 200; Magnesio, 40; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeso, 1; Boro, 0.5; Cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Su aplicación se llevó a cabo desde el momento de la siembra hasta el trasplante. A partir de ahí y hasta el final de cosecha, se utilizó una solución nutritiva única, con las concentraciones de macronutrientes y micronutrientes arriba

señaladas, donde el nitrógeno y el fósforo se manejaron a una concentración de 200 y 50 mg L⁻¹, respectivamente.

Cuadro 8. Fuentes fertilizantes, fórmula química y cantidades de fertilizantes utilizadas para preparar 20 L de solución nutritiva en cada tratamiento.

Fuente de fertilizante	Fórmula química	Solución nutritiva (g 20 L ⁻¹)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂	18.2	18.2	18.2	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4
Nitrato de Potasio	KNO ₃	0	0	0	0	0	0	15.4	15.4	15.4
Fosfato Monopotásico	KH ₂ PO ₄	0	0	3.8	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.8
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	9.6	9.6	7.1	9.6	9.6	7.1	0.0	0.0	0.0
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄	10.0	10.0	10.0	6.3	6.3	6.3	3.7	3.7	3.7
Ácido Fosfórico (ml)	H ₃ PO ₄	1.1	2.2	1.3	1.1	2.2	1.3	1.1	2.2	1.3
Sulfato Ferroso	FeSO ₄	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sulfato de Manganeso	MnSO ₄ ·4H ₂ O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ácido Bórico	H ₃ BO ₃	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Sulfato de cobre	CuSO ₄	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sulfato de Zinc	ZnSO ₄	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tratamiento		1,2	3,4	5,6	7,8	9,10	11,12	13,14	15,16	17,18

Además, se aplicó luz suplementaria, proporcionada con lámparas tipo led de luz blanca de la marca Megaluz® modelo LSS002 con un gasto energético de 36 W h⁻¹ y medidas de 1.2 m de largo por 7 cm de ancho. Las lámparas fueron colocadas 15 cm por encima del dosel de las plántulas procurando una intensidad de 150 µmol de fotones m⁻² s⁻¹. Se colocaron de forma transversal a las charolas, con el fin de distribuir de manera más uniforme la luz en todas las plantas (Figura 16). El tiempo de aplicación fue de 8 horas diarias (de las 19:00 a 3:00 horas del día siguiente), de los 15 a 45 días después de la siembra (dds).



Figura 16. Colocación de lámparas led de luz blanca sobre las plántulas con tratamientos de luz.

Las plántulas fueron trasplantadas a camas construidas de concreto con profundidad de 25 cm y 1 m de ancho, rellenas de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro, a una distancia de 25 cm entre hileras y 25 cm entre plantas, lo que resultó en una densidad de población de 12 plantas m^{-2} útil (8 plantas m^{-2} de invernadero). Cada cama contó con un sistema de riego con goteros integrados cada 20 cm, programado para suministrar el riego durante 10 minutos cada hora a partir de las 9:00 hasta las 17:00 h.

Para dar soporte a la planta, se realizó un tutorado con rafia y anillos de plástico, que están diseñados para rodear el tallo y sujetarlos a la cuerda desde la base de la planta de manera que evita estresarla o dañarla y le otorga un mejor soporte (Figura 17).



Figura 17. Práctica de tutorado en plantas de jitomate.

Conforme aparecieron los primeros brotes axilares en el tallo principal (chupones), éstos se fueron eliminado cada tercer día, de manera que las plantas fueron conducidas a un solo tallo. Una vez que éstas formaron dos hojas arriba del tercer racimo, se eliminó la yema terminal para dejar solamente tres racimos por panta (Figura 18), lo cual ocurrió a los 70 dds.



Figura 18. Planta de jitomate despuntada (eliminación de yema terminal) dos hojas arriba del tercer racimo.

La temperatura y humedad relativa del aire fue medida con un DATALOGGER® portátil Marca EXTECH® modelo RHT10, con mediciones programadas cada 10 minutos. Las temperaturas promedio registradas por mes fueron: Julio (20.9 °C),

Agosto (22 °C), Septiembre (21 °C), octubre (20.3 °C), Noviembre (18 °C) y diciembre (12 °C).

Para el caso de la humedad relativa se registraron valores promedios de 70, 65, 66, 70, 71 y 79 % correspondientes a los meses de julio a diciembre, respectivamente. El sistema de calefacción que fue requerido durante el mes de diciembre, fue programado para encenderse automáticamente a 5 °C con apagado a los 8 ° C.

2.5.5. Descripción de tratamientos

Se evaluaron 18 tratamientos, producto de la combinación de tres concentraciones de nitrógeno en forma de nitrato (100, 200 y 300 mg L⁻¹), tres concentraciones de fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹) y dos condiciones de luz suplementaria (con y sin luz), como se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Tratamientos resultantes de la combinación de concentraciones de nitrógeno, fósforo y condición de luz suplementaria evaluados.

Tratamiento	Nitrógeno (mg L ⁻¹)	Fósforo (mg L ⁻¹)	Luz suplementaria (150 µmoles m ⁻² s ⁻¹)
T1 (100N-25P-SLS)	100	25	SLS
T2 (100N-25P-CLS)	100	25	CLS
T3 (100N-50P-SLS)	100	50	SLS
T4 (100N-50P-CLS)	100	50	CLS
T5 (100N-75P-SLS)	100	75	SLS
T6 (100N-75P-CLS)	100	75	CLS
T7 (200N-25P-SLS)	200	25	SLS
T8 (200N-25P-CLS)	200	25	CLS
T9 (200N-50P-SLS)	200	50	SLS
T10 (200N-50P-CLS)	200	50	CLS
T11 (200N-75P-SLS)	200	75	SLS
T12 (200N-75P-CLS)	200	75	CLS
T13 (300N-25P-SLS)	300	25	SLS
T14 (300N-25P-CLS)	300	25	CLS
T15 (300N-50P-SLS)	300	50	SLS
T16 (300N-50P-CLS)	300	50	CLS
T17 (300N-75P-SLS)	300	75	SLS
T18 (300N-75P-CLS)	300	75	CLS

SLS: Sin luz suplementaria. CLS: Con luz suplementaria.

Cada tratamiento, con sus cuatro repeticiones, y seis plantas extra para la determinación de las variables índice de área foliar (IAF) y peso seco, ocupó una charola completa (Figura 15).

Todos los tratamientos fueron aleatorizados y puestos en una sola hilera de charolas con competencia completa orientadas en dirección este-oeste, con el fin de disminuir el efecto de la sombra generada por las lámparas sobre las plantas durante el día (Figura 19).



Figura 19. Charolas de 60 cavidades con sus respectivos tratamientos en etapa de semillero.

2.5.6. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial de tratamientos, cuatro repeticiones y seis plantas por unidad experimental, tanto en etapa de semillero como en la fase productiva.

2.5.6.1. Variables evaluadas en etapa de plántula (a los 52 días después de la siembra):

1. Altura de plántula (cm). Se utilizó un flexómetro colocado desde la base del tallo de la plántula hasta el meristemo apical.
2. Diámetro de tallo (mm). Se utilizó un vernier digital ($\pm 0,01$ mm) en el entrenudo ubicado entre la segunda y tercera hoja verdadera.
3. Área foliar (cm^2). Se hizo un muestreo destructivo tomando dos plantas por cada tratamiento, y separando las hojas del tallo para posteriormente ser medidas con un integrador de área foliar marca LI-COR® modelo LI-3100.
4. Peso seco (g). Las mismas plantas utilizadas para la determinación de área foliar fueron colocadas en bolsas de papel y secadas en estufa a 70°C por 72 horas, posteriormente se pesaron en una báscula de precisión marca Ohaus Corporation® serie SCOUT PRO.
5. Días a antesis. Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas tuvieran al menos una flor abierta.

2.5.6.2. Variables evaluadas en etapa de producción (Posterior al trasplante hasta la última cosecha):

1. Número de flores por planta. Se sumó el número de flores del racimo uno, dos y tres de cada planta y posteriormente fue promediado.
2. Número de frutos cosechados por planta. Se sumó el número de frutos de los racimos uno, dos y tres de cada planta y se promedió.
3. Peso medio de frutos (g). Se calculó con el dato obtenido de la variable de peso total de frutos por planta dividido entre el número de frutos cosechados por planta muestreada en cada repetición, y para cada uno de los tratamientos.
4. Rendimiento por planta (g). Se obtuvo por la suma del rendimiento de los tres racimos cosechados en cada planta.

5. Días del trasplante a fin de cosecha. Se contaron los días que transcurrieron desde el trasplante hasta al último corte por tratamiento y repetición.

2.5.7. Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4 (2014).

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1. Variables evaluadas en plántula

Las pruebas de análisis de varianza realizadas a los 52 días después de la siembra (Cuadro 10), momento en que se realizó el trasplante, muestran que, entre tratamientos de concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva, se tuvieron efectos altamente significativos sobre la variable altura de plántula. Entre tratamientos de concentración de fósforo, se tuvo efectos significativos para peso seco, y entre tratamientos de luz suplementaria, hubo efectos altamente significativos, tanto en altura de plántula como en peso seco. En ninguna variable hubo efectos de interacción entre los distintos factores de estudio.

Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables medidas en plántulas de jitomate creciendo en solución nutritiva con diferentes concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹) y luz suplementaria (con y sin luz) 52 días después de la siembra.

FV	GL	Altura de Plántula (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área Foliar (cm ²)	Peso Seco (g)
N	2	90.9 **	0.3 NS	7853.7 NS	1.6 NS
P	2	14.5 NS	0.4 NS	86177.0 NS	6.7 *
N*P	4	30.4 NS	0.2 NS	131701.6 NS	8.7 NS
L	1	146.4 **	0.0 NS	5881.4 NS	13.3 **
N*L	2	0.2 NS	0.5 NS	43515.0 NS	1.3 NS
P*L	2	70.7 NS	0.6 NS	430741.4 NS	10.0 NS
N*P*L	4	32.1 NS	0.2 NS	70212.9 NS	4.1 NS
BLOQUE	1	18.8 NS	0.2 NS	34806.2 NS	0.2 NS
ERROR	51	4.8	0.3	24614.4	1.4
CV		3.7	7.0	16.5	14.2

*: Significativo P=0.05. **: Altamente significativo P=0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. P: Fósforo. N: Nitrógeno. L: Luz.

Las pruebas de comparación de medias por factores (Cuadro 11) arrojaron los siguientes resultados:

La aplicación de nitrógeno en las concentraciones señaladas no afectó el diámetro de tallo, área foliar ni el peso seco, solamente la altura de plántula, donde el tratamiento de 200 mg L⁻¹ de concentración generó plántulas de 61.1 cm, que superó a las plántulas de tratamiento con 100 mg L⁻¹, cuya altura fue de 56.4 cm a los 52 días después de la siembra. Con la concentración de 300 mg L⁻¹, la altura promedio de plántula fue de 59.8 cm, sin diferencias estadísticas respecto a los otros tratamientos. Para trasplantes tardíos como el que se pretende lograr (50 a 60 dds), se busca plántulas con tallo grueso y alto peso seco, pero con poca altura. Cabe señalar que el nitrógeno es un elemento muy importante para crecimiento del jitomate, pero aplicado en altas concentraciones, puede promover un desarrollo vegetativo exuberante (Moreno, 2004). Con base en lo señalado por este autor y de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, no se recomienda aplicar más de 100 mg L⁻¹ en la solución nutritiva durante la etapa de plántula, pues la mayor altura de alcanzada con los tratamientos de mayor concentración, dificultó la labor de trasplante, obligando a realizar el tutorado al mismo tiempo de ser trasplantadas.

Muñoz (2009) menciona que el incremento de altura de la planta para cultivares de jitomate tipo saladette, puede deberse a un suministro superior al necesario de N y P, que inducen un mayor incremento crecimiento vegetativo. González *et al.* (2005) también reportan que la aplicación de diferentes concentraciones de nitrógeno (79, 124 y 169 mg L⁻¹) en soluciones nutritivas, no provocó diferencias significativas sobre la parte aérea, a pesar de que el nitrógeno es componente principal de proteínas esenciales para la formación de protoplasma, lo que normalmente conlleva a una mayor altura de la planta y a un incremento en el número de hojas (Espinosa *et al.*, 2019).

Respecto al efecto de los niveles de concentración de fósforo en la solución nutritiva, solo hubo diferencias en peso seco a favor del tratamiento con 50 mg L⁻¹ (Cuadro 11). Esto debido a que las plántulas con esta concentración de fósforo también tuvieron tendencias a incrementar su altura y área foliar, aunque no hubo

una tendencia clara de este resultado, pues entre aplicar 25 ó 75 mg L⁻¹, no hubo diferencias significativas.

Cuadro 11. Comparación de medias de variables medidas a los 52 dds en plántulas de jitomate en respuesta a distintas concentraciones de nitrógeno y fósforo aplicado en la solución nutritiva, así como de luz suplementaria aplicada de los 15 a los 45 dds.

Tratamientos (mg L ⁻¹)	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)
NITRÓGENO				
100	56.4 b	7.4 a	977.2 a	8.7 a
200	61.1 a	7.0 a	927.0 a	8.0 a
300	59.8 ab	7.2 a	943.3 a	8.6 a
DMS	4.5	0.5	272.0	2.0
FOSFORO				
25	58.5 a	7.1 a	907.8 a	6.5 b
50	60.6 a	7.1 a	1047 a	9.3 a
75	58.9 a	7.4 a	893.0 a	7.2 b
DMS	5.0	0.5	262.8	1.9
LUZ SUPLEMENTARIA				
Sin luz	61.3 a	7.2 a	936.4 a	7.8 b
Con luz	57.3 b	7.2 a	961.9 a	9.5 a
DMS	3.1	0.4	181.5	1.3

Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS: Diferencia mínima significativa.

Se sabe que el fósforo tiene un papel preponderante en etapa de plántula (Ruiz y Rathgeb, 1990) debido a su función dentro del metabolismo energético de la planta como la fotosíntesis y la respiración (Mengel y Kirkby, 2001). Cadahía (2000) también señala que el fósforo interviene en procesos de acumulación y liberación de energía durante el metabolismo celular, siendo las plantas más jóvenes las que requieren la mayor demanda de fósforo, ya que su sistema radical es limitado y su activo crecimiento tienen una gran demanda de dicho elemento (Arzola, 2013). En un trabajo conducido por Díaz (2013) en el que probó diferentes fuentes y concentraciones de fósforo en plántulas de jitomate evaluadas a los 60 días después de la siembra, tampoco encontró diferencias claras entre tratamientos, a pesar de que Rodríguez (1998) y Moreno (2007)

señalan que el fósforo beneficia el desarrollo del sistema radicular, y favorecen en número de hojas, diámetro de tallo y el peso seco total.

En cuanto a la adición de luz led suplementaria nocturna, aplicada por 8 horas durante 30 días a partir de los 15 dds en estado de plántula (Cuadro 11), se registró menor altura con la aplicación de luz en comparación con los tratamientos sin luz. Seguramente en esta etapa, las plántulas tuvieron alta competencia por luz, de manera que la carencia de luz en dichas plántulas promovió elongación del tallo, por efecto de sombreado mutuo (Higuchi *et al.*, 2012). Al respecto Taiz *et al.* (2015), señalan que, a partir de un cierto umbral de densidad de población, la competencia por luz ocasiona síntomas de etiolación siendo la elongación del tallo el más visibles. Por el contrario, con luz suplementaria, la competencia entre plántulas seguramente fue menor, lo cual se manifestó como una disminución en altura, y mayor peso seco. Espinosa (1996) concluyó que independientemente de la intensidad de la luz suplementaria, ésta genera una disminución de altura de 4.5 cm, coincidiendo con la presente investigación al reflejar una diferencia de 4 cm entre tratamientos sin luz (61.3 cm) y con luz suplementaria (57.3 cm).

En el Cuadro 11 también se observa que, aunque no hubo diferencias entre tratamientos en diámetro de tallo y área foliar, las plántulas que recibieron luz suplementaria, tuvieron numéricamente más área foliar y estadísticamente mayor peso seco que los tratamientos sin luz. De acuerdo con Taiz y Zeiger (2002) y Hopkins y Hüner (2009), esto puede ser un indicativo de que se forman hojas con una lámina foliar más gruesas, lo que pudo haber aumentado el peso seco.

En la Figura 20 se muestra las características de plántulas de jitomate con luz y sin luz suplementaria al momento del trasplante.



Figura 20. Plántulas de jitomate a) con luz suplementaria y b) sin luz suplementaria 52 días después de la siembra.

2.6.2. Variables de rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza para rendimiento y sus componentes (Cuadro 12) muestra que las diferencias encontradas en estado de plántula, no se vieron reflejadas en el número de flores por planta, ni en el rendimiento y sus componentes. Solamente hubo diferencias entre tratamientos de concentración de nitrógeno para peso medio de fruto. En días de trasplante a fin de cosecha no hubo diferencias, y tampoco se tuvieron efectos de interacción entre factores.

De igual forma, las comparaciones de medias entre tratamientos dentro de cada factor de estudio (Cuadro 13), tampoco mostró diferencias en el número de flores por planta, ni en el rendimiento y sus componentes. Solamente en peso medio de fruto, el tratamiento de 200 mg L⁻¹ de nitrógeno, dio frutos de mayor peso que el de 100 mg L⁻¹, pero el rendimiento fue el mismo. De acuerdo con el promedio de todos los tratamientos, el rendimiento por planta fue de 1621 g, que equivale a 13 kg m⁻² de acuerdo con la densidad de 8 plantas m⁻² establecida, en un ciclo de 102 días. Con tres ciclos de cultivo al año, potencialmente se tendría un rendimiento de casi 400 t ha⁻¹ año⁻¹, rendimiento que supera el promedio nacional reportado con el sistema de manejo de un ciclo al año y baja densidad de población (Castellanos y Borbón, 2009).

Cuadro 12. Análisis de varianza y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate regadas con solución nutritiva a distintas concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹) sin luz y con luz suplementaria.

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g ⁻¹)	Rendimiento por planta (g/planta)	Días de trasplante a fin de cosecha
N	2	0.29 NS	11.4 NS	458.2 *	61326.9 NS	27.5 NS
P	2	1.84 NS	2.9 NS	109.1 NS	1715.6 NS	23.7 NS
N*P	4	2.35 NS	8.5 NS	40.7 NS	62496.6 NS	46.2 NS
L	1	1.05 NS	1.1 NS	100.7 NS	120925.4 NS	0.3 NS
N*L	2	0.80 NS	2.9 NS	136.4 NS	85967.0 NS	27.5 NS
A*L	2	2.89 NS	1.7 NS	84.7 NS	36289.8 NS	41.4 NS
N*F*L	4	1.17 NS	4.5 NS	57.9 NS	17230.9 NS	22.4 NS
BLOQUE	1	0.73 NS	0.5 NS	607.6 NS	157086.6 NS	26.3 NS
ERROR	51	3.24	3.6	109.8	60169.2	10.6
CV		9.63	11.7	10.3	15.1	3.1
MG		18.68	16.1	101.2	1621.2	102.2

*: Significativo P=0.05. **: Altamente significativo P=0.01. NS: No significativo. FV: Fuente de variación. GL: Grados de libertad. CV: Coeficiente de variación. N: Nitrógeno. P: Fósforo. L: Luz.

El este experimento también pretendía mostrar que con el trasplante entre los 50 y 60 dds se podría lograr acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a 90 días o menos, pero no fue así. Esto porque la temperatura promedio de los meses de noviembre y diciembre fue muy baja (Figura 21). En otros trabajos, donde el trasplante se ha realizado a los 55 ó 60 dds y las condiciones de temperatura han sido mejores, se han logrado ciclos menores a 90 días (Moreno *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2021). En este experimento se utilizó calefacción, pero sólo para evitar temperaturas bajas extremas (no menos de 6 °C), pero si se hubiera empleado calefacción para tener temperaturas por arriba de 10 °C, o si el estudio se hubiera llevado a cabo en otra época del año, o en una localidad con una media de temperatura mayor para los meses de noviembre y diciembre, se podrían obtener hasta cuatro ciclos por año con un rendimiento potencial que superaría las 500 t ha⁻¹ año⁻¹, pues como lo señalan Sánchez *et al* (2021) y Moreno *et al* (2021), entre más tardío sea el trasplante mayor productividad anual se puede lograr al reducir el tiempo entre trasplante y cosecha, obteniéndose más ciclos de cultivo por año.

Cuadro 13. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes de plantas de jitomate regadas con solución nutritiva a distintas concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹), fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹) sin luz y con luz suplementaria.

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
NITRÓGENO					
100	18.5 a	16.7 a	96.2 b	1606.8 a	101.5 a
200	18.7 a	16.2 a	104.5 a	1677.4 a	101.7 a
300	18.8 a	15.4 a	102.8 ab	1579.4 a	103.4 a
DMS	1.3	1.3	7.3	170.9	2.8
FÓSFORO					
25	18.3 a	16.1 a	101.2 a	1620.9 a	101.8 a
50	19.2 a	16.4 a	99.0 a	1629.8 a	103.3 a
75	18.4 a	15.8 a	103.3 a	1612.9 a	101.5 a
DMS	1.3	1.3	7.3	170.9	2.8
LUZ SUPLEMENTARIA					
Sin luz	18.9 a	15.9 a	102.0 a	1580.2 a	102.3 a
Con luz	18.4 a	16.2 a	100.0 a	1662.2 a	102.1 a
DMS	0.9	0.9	0.9	116.0	1.9

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$).

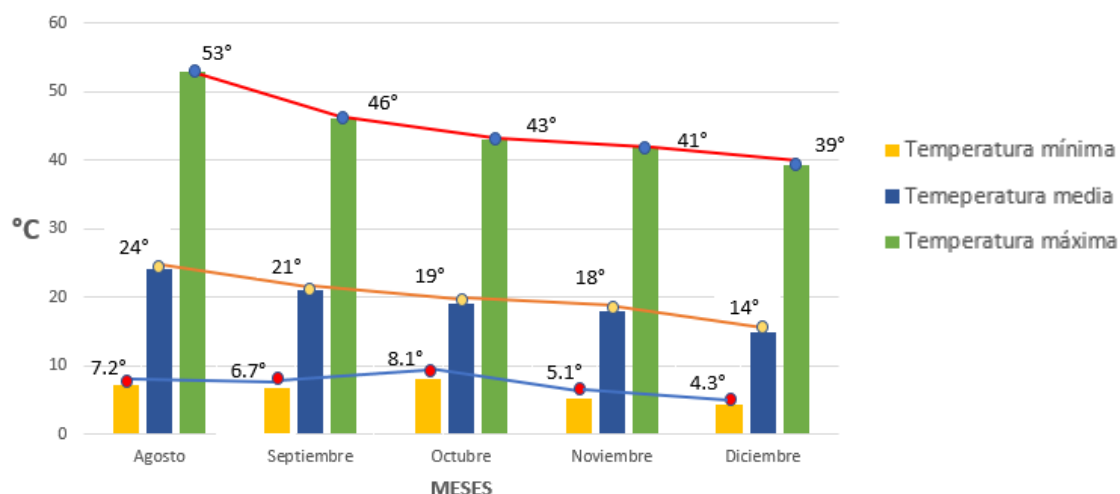


Figura 21. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo del experimento.

A pesar de que el nitrógeno y el fósforo son imprescindibles para lograr una buena floración (Moreno, 2003) y forman parte del metabolismo energético de la planta como la fotosíntesis y la respiración (Mengel y Kirkby, 2001), en este estudio no se encontró ninguna diferencia en el rendimiento y sus componentes entre utilizar una solución nutritiva con 100, 200 ó 300 mg L⁻¹ de nitrógeno en etapa de plántula. Tampoco se tuvo diferencia entre aplicar 25, 50 ó 75 mg L⁻¹ de fósforo. Resultados que coinciden con Fujita *et al.* (2003) y Barrios *et al.* (2015) al reportar que el peso promedio de fruto no varió significativamente al probar diferentes dosis de fósforo en la solución nutritiva.

La adición de luz blanca suplementaria tampoco afectó el rendimiento y sus componentes, tal como fue reportado por Portillo (2020) al indicar que los cambios morfogénéticos ocasionados por la luz suplementaria en fase de semillero, no generaron ningún cambio en el número de flores ni en el rendimiento por planta.

2.7. CONCLUSIONES

La solución nutritiva con 200 mg L⁻¹ de concentración de nitrógeno, aumentó la altura de plántula en jitomate comparada con la de 100 mg L⁻¹, pero no afectó el diámetro de tallo, área foliar, ni el peso seco.

La aplicación de luz led suplementaria por ocho horas en etapa de plántula de jitomate, redujo la altura y aumentó el peso seco.

Las concentraciones de nitrógeno (100, 200 y 300 mg L⁻¹) y de fósforo (25, 50 y 75 mg L⁻¹) en la solución nutritiva y el uso de luz led suplementaria durante ocho horas, aplicadas durante la noche en etapa de plántula de jitomate, no afectaron el número de flores ni el rendimiento por planta.

2.8. LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. 2012. Efecto de la luz suplementaria en la producción de plántula en tomate (*Solanum lycopersicum*. L). Tesis de Licenciatura. Universidad autónoma Chapingo. Texcoco, Mexico. 108 p.
- Aguirre, B. H. 2020. Rendimiento y producción de metabolitos secundarios en plantas de jitomate con fotoperiodos complementado mediante sistema de iluminación LED. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 63 p.
- Arzola, N.; Herrera, O; Mello, R. J. 2013. Manejo de suelos para una agricultura sostenible Pp. 185-195.
- Asociación Mexicana de Agricultura Protegida (AMHPAC). 2020. Disponible en: <https://www.amhpac.org/es/index.php> (Consultado en enero de 2021).
- Barrios, D. J. M.; Suárez, B. B.; Cruz, R. W.; Barrios, D. B.; Vázquez H. G.; Ibáñez, M. A.; Moreno, V. D. 2015. Phosphatic fertilization on yield and quality of tomato in greenhouse. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6 (4): 897-904.
- Basoccu, L.; Nicola, S. 1995. Efectos suplementarios de la luz y del nitrógeno antes del trasplante sobre el crecimiento y el rendimiento de las plántulas de tomate. Producción de hidroponía y trasplantes, 396: 313-320.
- Basucco, L; Nicola, S. 1992. Influence of nitrogen on tomato seedlings. Eighth International Congress on Soilless Culture. South Africa, 51-59.
- Cadahía, C. 2000. Fertiirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. 2da Edición. Ediciones Mundo Prensa. 58 p.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. Journal of Horticultural Science, 39 (3): 194-211.
- Castellanos, J. Z.; Borbón, M. C. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. Manual de producción de tomate en invernadero. JZ Castellanos. Editorial Intagri. Pp: 1-18.
- Contreras, M. E. 2007. Efecto del Ambiente de Crecimiento de Plántulas de Jitomate sobre el Número de Flores y Producción de Fruto. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México, 123 p.
- Coutinho, E. L. M.; Orioli, J.; Valdeci, S. E. J.; Coutinho, N. A. M.; Cardoso, S. S. 2014. Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para

procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *Agrociencia Uruguay*, 18(2): 40-46.

Díaz, A. I.; Paret, S. E.; Mello, P. R.; Castellanos G. L. 2013. Efecto de fuentes de fósforo y cachaza enriquecida o no con azotofos sobre el tenor de fósforo y variables morfoagronómicas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Universidad Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Pamplona, España. 50 p.

Enza Zaden. 2020. Disponible en: <https://www.enzazaden.com/mx/products-and-services/our-products/Tomates/Paipai> (Consultado en febrero de 2021).

Espinosa, P. B.; Cano, R. P.; Salas, P. L.; García, H. J. L.; Preciado, R. P.; Sáenz, M. J.; Reyes, C. J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biotecnia*, 21 (3): 100-107.

Espinosa, R. P. 1996. Uso de luz suplementaria y retardadores de crecimiento (Cycocel y B-9) en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 59 p.

Fisher, K. J. 1969. Efectos del suministro de nitrógeno durante la propagación sobre la floración y fructificación de los tomates de invernadero. *Revista de ciencia hortícola*, 44 (4): 407-411.

Fujita, K.; Okada, M.; Lei, K.; Ito, J.; Ohkura, K.; Adu, G. J. J.; y Mohapatra, P. K. 2003. Efecto de la deficiencia de P en la partición de fotoasimilados y cambios rítmicos en el diámetro de la fruta y el tallo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) durante el crecimiento de la fruta. *Revista de botánica experimental*, 54 (392): 2519-2528.

Gajc, W. J.; Kowalczyk, K.; Metera, A.; Mazur, K.; Bujalski, D.; Hemka, L. 2013. Effect of supplementary lighting on selected physiological parameters and yielding of tomato plants. *Folia Horticulturae*, 25: 153-159.

Gaytán, R. M.; Vargas, E. E.; Rivera, A. M.; Morales, F. V. D. J. 2016. Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, 3: 18-25.

González, R. E.; Benavides, M. A.; Ramírez, H.; Robledo, T. V.; Maiti, R.; Reyes, L. A.; Aguilera, C. A. F.; Fuentes, L. L. O.; Hernández, V. R. E. M. 2005. Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana*, 23 (1): 105-111.

- Higuchi, Y.; Sumitomo, K.; Oda, A.; Shimizu, H.; & Hisamatsu, T. 2012. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology*, 169 (18): 1789-1796.
- Hopkins, W. G.; Hüner, N. P. A. 2009. *Introduction to Plant Physiology* (Fourth edition). John Wiley and Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 503 p.
- Jokinen, K.; Sarkka, L. E. y Nakkila, J. 2012. Improving sweet pepper productivity by led interlighting. *Acta Horticulturae*, 956: 59-66.
- Leskovar D. 2001. *Producción y ecofisiología del trasplante hortícola*. Texas, USA. Texas A & University. 24 p.
- Meisel, L.; Urbina, D.; Pinto, M. 2011. Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. *Fisiología vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena, Chile, 18: 1-10.
- Mengel, K.; Kirby, E. A. 2001. *Principles of plant nutrition*. Annals of Botany Company. Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Moreno, V. 2003. *Seminario de Riego, Drenaje y nutrición*. La Habana. 19 p.
- Moreno, V. 2004. *Procedimientos para el manejo de la nutrición y el control de la fertilización en las casas de cultivo*. Grupo Empresarial Frutícola. La Habana. 38 p.
- Moreno, V. 2007. *Procedimientos para el manejo de la nutrición y el control de la fertilización en las casas de cultivo*. En Taller efectuado UEB Cítrico Arimao. Cumanayagua, Cienfuegos.
- Moreno, P. E. del C.; Ruíz, D. M.; Contreras, M. E.; Sánchez, del C., F. 2021. Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27 (1): 5-17.
- Mundo, M.; Jaramillo V. J. L.; Morales, J. J.; Macias, L. A.; Ocampo. M. J. 2020. Caracterización tecnológica de las unidades de producción de tomate bajo invernadero en Puebla. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11 (5): 979-992.
- Muñoz, R. J. J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. *In: manual de producción de tomate en invernadero*. Castellanos, Z. T. Ediciones Intagri. Pp: 45-93.
- Ponce, O. J.; Sánchez, del C. F.; Contreras, M. E.; Corona, S. T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate

(*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Fitotecnia Mexicana, 23 (1): 87-97.

Portillo, L. 2020. Efectos de luz suplementaria sobre calidad de plántulas y número de flores por racimo en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 185 p.

Rodríguez, O. C. 1998. Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad floradade. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 85 p.

Romano, D.; Paratore, A.; Rosi, A. L. 2003. Plant density and container cell volume on solanaceous seedling growth. Horticulture Journal, 614: 247-253.

Ruiz, S. R.; Rathgeb, P. W. 1990. Efecto de la dosis de Fosforo al almacigo, en economía del Fosforo, en post plantación y ritmo de absorción N P K en tomates Ace 55 VF, cultivados al aire libre. Agricultura Técnica, 50 (3): 274-280.

Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Magdaleno, V. J.; Pineda, P. J.; Martínez, D. T.; Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 26 p.

Sánchez, del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. M del C.; González, H. V. A.; Colinas, L. M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Agrociencia, 33 (1): 21-29.

Sánchez, del C. F.; Ponce, O. J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura, 4 (2): 89-94.

Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Coatzín R. R.; Colinas. L. M. T.; Peña. L. A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Serie horticultura, 16 (3): 207-214.

Sánchez, del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Morales, M. A.; Peña, L. A., Colinas, L. M. T. 2012. Densidad de población y volumen de sustrato en Plántulas de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Agrociencia, 46 (3): 255-266.

Sánchez, del C. F.; Portillo, M. L.; Moreno, P. E. del C.; Magdaleno, V. J. J.; Vázquez, R. J. C. 2021. Effects of container volume and seedling density

on late transplanting and number of flowers in tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27 (2): 71-84.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. disponible en: <https://www.gob.mx/siap>. (Consultado en enero de 2021).

Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 690 p.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development*. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc. Publisher.

Trouwborst, G.; Schapendonk, H. C. M.; Rappoldt, K.; Pot, S.; Hogewoning, S.W.; Van, I. W. 2011. The effect of intracanopy lighting on cucumber fruit - model analysis. *Scientia Horticulturae*, 129 (2): 273-278.

Vázquez, R. J. C.; Sánchez, del C., F.; Moreno, P. E. del C. 2007. Producción de jitomate en doseles Escalariformes Bajo Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13: 55-62.